

УДК 621.9.06-752

М.В. Кучугуров, А.И. Гермашев, С.И. Дядя, канд.техн.наук,  
А.В. Пирожок, канд.техн.наук, Запорожье, Украина

## **ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ВОЗМОЖНОСТЕЙ УПРАВЛЕНИЯ ПРИВОДАМИ СТАНКОВ НА БАЗЕ СТОЙКИ ЧПУ SIEMENS**

*В статті описана методика програмування стійки числового програмного керування Sinumerik 840D, яка дозволяє задавати синусоїдальний закон зміни частоти обертання шпинделя у часі. Розглянуті особливості реалізації даного режиму роботи осей верстата, використовуючи закладений функціонал синхронних дій, що дозволяє виконувати корекцію швидкостей та положення осей паралельно основній технологічній програмі обробки.*

*В статье описана методика программирования стойки числового программного управления Sinumerik 840D, позволяющая задавать синусоидальный закон изменения частоты вращения шпинделя во времени. Рассмотрены особенности реализации данного режима работы осей станка, используя заложенный функционал синхронных действий, позволяющий выполнять корректировку скоростей и положения осей параллельно основной технологической программе обработки.*

*The programming technique of Sinumerik 840D computer numerical control system that allows applying the sinusoidal spindle speed variation law is described. The features of implementation of this machine axes operation mode, using inbuilt synchronized actions functional that allows executing the correction of axes speeds and locations at the same time with main machining program are reviewed.*

Управления скоростью работы приводов металлообрабатывающего оборудования является высокотехнологичным методом воздействия на процесс механической обработки резанием в условиях постоянного изменения частоты вращения шпинделя и движения подачи. Воздействуя на механизм регенерации, обусловленный резанием по следу, возможно подавление автоколебаний, приводящих к ухудшению качества обработанной поверхности детали, снижению стойкости инструмента, ускоренному износу оборудования.

Особенностью реализации метода подавления колебаний в зоне обработки путем резания с переменной скоростью вращения шпинделя является отсутствие в необходимости применения дополнительного оборудования. Современные станки с числовым программным управлением (ЧПУ) позволяют управлять движениями станка, задавая различные математические законы изменения положения осей и скоростей их перемещения во времени. Благодаря наличию жесткой обратной связи система управления контролирует данные величины в режиме реального времени, и в случае их отклонения от заданных значений осуществляет их автоматическую корректировку.

Целесообразность резания с переменной скоростью для подавления автоколебаний была показана еще в 70х годах 20 века. Однако эта задача до сих пор остается не решенной, так как только с созданием современных систем управления появилась возможность ее полноценной реализации. Ранее отсутствие данных механообрабатывающих систем было обусловлено следующими факторами:

1) Недостаточной развитостью технологий автоматизированного и компьютерного управления приводными системами.

2) Особенностью применяемых производственных технологических процессов изготовления в сочетании с эксплуатационными характеристиками станков. Считается, что основной задачей при проектировании металлорежущего оборудования является его эксплуатация в условиях постоянства скоростей движения. С точки зрения надежности, долговечности механических элементов станка и экономичности работы двигателя, данный режим работы наиболее целесообразен. Однако, постоянство скоростей вращения шпинделя и движения подачи не оказывают никакого влияния на снижение уровня автоколебаний при резании. А так как механизм их подавления путем варьирования основных движений станка (вращение шпинделя и продольное движение подачи) находится на этапе экспериментально-лабораторного изучения, сегодня такой режим обработки является нестандартным и не рассматривается в качестве рекомендуемого для практического применения.

Среди всех существующих фирм – производителей систем программного управления металлорежущего оборудования наиболее широкое распространение получила фирма Siemens. Существует целый ряд продукции данного класса – Sinumerik [1]. В зависимости от требуемой функциональности для каждого технологического процесса применяется соответствующая модель стойки ЧПУ. Среди всего многообразия данных систем наиболее популярной является серия Sinumerik 840D. Имея широкие вычислительные возможности, позволяющие одновременно управлять большим числом осей, а также наличие в открытом доступе технической документации по устройству и принципам ее работы и управления, делает ее применение простым и оправданным. Рассмотрение программы работы стоек ЧПУ фирмы Siemens будет дано для серии Sinumerik 840D.

В ходе исследований было проанализировано большое количество работ по изучению возможности подавления автоколебаний путем варьирования частотой вращения шпинделя. Установлено, что в современной литературе полностью отсутствует описание методик программирования станков с целью реализации требуемого режима работы. В статье [2] автор только обозначил возможность использования механизма синхронных действий, позволяющего задавать математический закон изменения частоты вращения шпинделя.

Целью данной статьи является описание методики программирования стойки ЧПУ, позволяющей реализовать работу привода главного движения станка в режиме управляемого варьирования частотой вращения шпинделя.

Способ, позволяющий осуществлять работу привода в заданном режиме, основан на использовании синхронных действий [3]. Данный программный функционал позволяет выполнять корректировку и изменение фактических параметров движения осей параллельно основной программе технологической обработки детали. С точки зрения синтаксиса программирования каждое синхронное действие является отдельным кадром технологической программы обработки. Перед запуском последней на исполнение, система ЧПУ предварительно просматривает ее с целью:

- проверки всего кода на наличие ошибок;
- выделение кадров, отвечающих за синхронные действия с дальнейшим их занесением в память ядра системы для последующей отработки.

Таким образом, для задания требуемого режима работы необходимо:

1) В основной технологической программе задать номинальный режим работы (номинальное число оборотов шпинделя, необходимые перемещения суппорта, включение и отключение подачи смазывающе-охлаждающей технологической среды и т.д.).

2) В кадре синхронных действий выполнить пересчет фактических значений скорости вращения шпинделя, величины подачи и задать полученные значения на исполнение системе ЧПУ.

Анализ литературных источников и современных работ по резанию с переменной скоростью вращения показал, что наиболее распространенным является изменение данной величины по синусоидальному закону – так называемая модуляция [4, 5, 6]. Данный режим варьирования является предпочтительным, так как влияние инерционных свойств привода и наличие внешней нагрузки процессом резания не позволяет полноценно реализовать другие математические законы изменения частоты вращения. Основными параметрами модуляции являются:

1)  $RVA$  – отношение амплитуды изменения фактической частоты вращения к номинальному значению последней;

2)  $RVF$  – отношение частоты модуляции к номинальной частоте вращения шпинделя.

Закон изменения фактической частоты вращения шпинделя имеет вид:

$$n_{\phi} = n_n \cdot (1 + RVA \cdot \sin(2\pi \cdot RVF \cdot 60n_n \cdot t)), \text{ об/мин} \quad (1)$$

где  $n_n$  – номинальная частота вращения шпинделя, об/мин;

$t$  – время, с.

Механизм синхронных действий позволяет изменять фактическую частоту вращения шпинделя:

- непосредственной установкой частоты вращения через технологическую команду (например: S = 500);
- установкой процента включения фактической частоты вращения шпинделя через системную переменную \$AA\_OVR[c], где c – имя оси шпинделя.

Для удобства программирования гармонический закон изменения частоты вращения (1) можно выразить через изменение процента включения шпинделя в работу:

$$P = 100 + A \cdot \sin(2\pi \cdot F \cdot t), \% \quad (2)$$

где A – амплитуда модуляция, %

F – частота модуляции, Гц

Команда синхронных действий в зависимости от указанных параметров, может выполняться:

- один раз за всю программу при выполнении заданных запрограммированных условий (достижения величины оси требуемого значения, получения сигнала от датчика и т.д.);
- многократное исполнение на протяжении действия всей программы обработки с частотой интерполяционного цикла системы управления (по умолчанию 250 Гц).

Интерполяционный цикл – период времени, за который система управления задает задание на привод, а последний в свою очередь должен выполнить указанные действия (изменить скорость движения осей, их координату и др.).

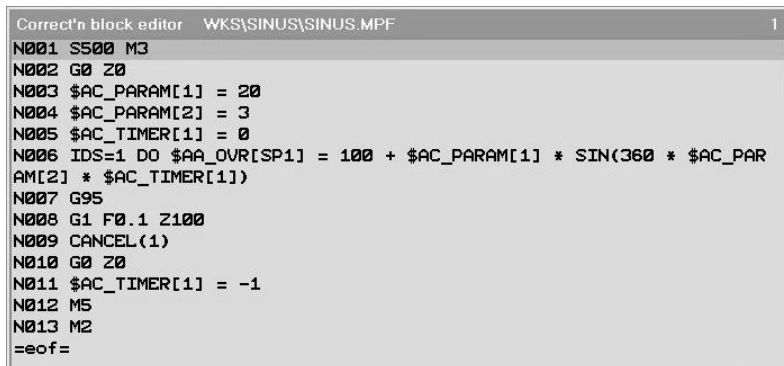
Используя данный механизм можно написать программу, которая будет пересчитывать фактическую частоту вращения шпинделя в зависимости от времени и задавать новое задание на отработку приводу главного движения. Пример данной программы приведен на рис. 1.

Данная программа имеет ряд особенностей, которые необходимо учитывать при ее использовании. Рассмотрим подробно данный алгоритм с пояснением каждого кадра программы. Предположим, мы хотим выполнять модуляцию частоты вращения при следующих параметрах: номинальная частота вращения шпинделя  $n_n = 500$  об/мин; амплитуда изменения частоты вращения  $A = 20\%$ ; частота изменения скорости вращения шпинделя  $F = 3$  Hz.

Составленная программа (рис. 1) содержит следующие компоненты:

1) N001 S500 M3 – задание номинальной частоты вращения 500 об/мин и включение вращения шпинделя по часовой стрелке.

2) N002 G0 Z0 – ускоренное перемещение суппорта по координате Z в положение 0; необходимо при текущем положении данной оси не равным нулю.



```
Correct'n block editor  WKS\SINUS\SINUS.MPF 1
N001 S500 M3
N002 G0 Z0
N003 $AC_PARAM[1] = 20
N004 $AC_PARAM[2] = 3
N005 $AC_TIMER[1] = 0
N006 IDS=1 DO $AA_OVR[SP1] = 100 + $AC_PARAM[1] * SIN(360 * $AC_PAR
AM[2] * $AC_TIMER[1])
N007 G95
N008 G1 F0.1 Z100
N009 CANCEL(1)
N010 G0 Z0
N011 $AC_TIMER[1] = -1
N012 M5
N013 M2
=eof=
```

Рисунок 1 – Тестовая программа, позволяющая модулировать частотой вращения шпинделя для стойки ЧПУ Sinumerik 840D

3) N003 \$AC\_PARAM[1] = 20; N004 \$AC\_PARAM[2] = 3 – третий и четвертый кадры программы. Запись \$AC\_PARAM обозначает массив переменных дробных чисел (чисел с плавающей точкой). Используется для хранения значений амплитуды A в процентах (\$AC\_PARAM[1] = 20) и частоты F в герцах (\$AC\_PARAM[2] = 3). Данные переменные представлены для наглядности и удобства программирования. Вместо них можно использовать R – параметры, имеющие такой же тип данных.

4) N005 \$AC\_TIMER[1] = 0 – инициализирует и запускает в работу системную переменную – таймер, которая используется для отчета времени в программе обработки. Запись \$AC\_TIMER представляет собой массив таймеров в системе. Следует отметить, что по умолчанию таймеры не активны. Без активации последних, при выполнении данной программы система ЧПУ выдает ошибку и дальнейшая работа возможна только после перезагрузки системы управления.

Для активации возможности использования таймеров необходимо изменить следующие машинные данные: MM\_NM\_NUM\_AC\_TIMER = 5. Данная переменная имеет целочисленный тип и определяет количество доступных таймеров в системе. После присвоения значения (в данном примере = 5) необходимо применить машинные данные и перезагрузить систему ЧПУ.

5) N006 IDS=1 DO \$AC\_OVR[SP1] = 100 + \$AC\_PARAM[1] \* SIN(360 \* \$AC\_PARAM[2] \* \$AC\_TIMER[1]) – шестой кадр программы – задание синхронного действия, выполняющее пересчет и корректировку частоты вращения шпинделя. Данная строка имеет следующий синтаксис:

IDS=1 – идентификатор синхронного действия, используется для указания последовательности их выполнения (в программе может быть

указано несколько синхронных действий), а также управление его работой (включение / отключение / удаление).

DO – кодовое слово, после которого указывается необходимое действие (в данном случае пересчет и установка процента работы частоты вращения шпинделя).

\$AA\_OVR[SP1] – системная переменная, в которой пользователь может указать процент включения заданной частоты вращения шпинделя. Индекс SP1 – имя оси шпинделя. Система управления приводом построена таким образом, что при выполнении задания система ЧПУ считывает значение данной переменной каждый интерполяционный цикл. Таким образом, меняя данное значение, в каждом из них, можно управлять поведением указанной оси.

$100 + \$AC\_PARAM[1] * \sin(360 * \$AC\_PARAM[2] * \$AC\_TIMER[1])$  – вычисление текущего значения % включения привода шпинделя по гармоническому закону. Т.к. значение переменной \$AC\_TIMER[1] будет изменяться с каждым интерполяционным циклом, программа производит пересчет и присвоение обновленного значения процента включения частоты вращения шпинделя в соответствии с заданным математическим законом.

Следует обратить внимание на то, что в данных системах управления тригонометрические функции в качестве аргумента принимают значения углов в градусах. Поэтому при написании программы в формуле (2) вместо 2π радиан необходимо использовать 360 градусов.

6) N007 G95 – включение режима подачи суппорта в систему единиц мм/об. Данный параметр чрезвычайно важен при механической обработке в режиме модуляции. Т.к. привода шпинделя и подачи на станках с ЧПУ не имеют кинематической связи, обеспечение подачи на оборот детали производится программно. В условиях выполнения модуляции частотой вращения шпинделя использование данной команды приводит к изменению фактической минутной подачи с целью обеспечения постоянства подачи на оборот, что необходимо при проведении исследований. Без учета данного фактора (при резании в режиме постоянной минутной подачи – G94) процесс резания будет осуществляться в условиях одновременной модуляции величин частоты вращения шпинделя и величины подачи на оборот.

7) N008 G1 F0.1 Z100 – задание продольного перемещения суппорта с подачей на оборот  $F = 0,1$  мм/об на величину 100 мм по координате Z. Данные значения выбираются из соображений длительности тестирования работы программы в автоматическом режиме, так как они влияют на время движения суппорта и соответственно на время работы программы.

8) N009 CANCEL(1) – деактивация и удаление синхронного действия с индексом IDS=1 (указанным в скобках) из памяти ядра системы после выполнения предыдущей команды.

9) N010 G0 Z0 – задание возвращения суппорта в нулевое положение на ускоренной подаче после выполнения тестирования.

10) N011 \$AC\_TIMER[1] = -1 – остановка таймера, выполняется присвоением значения -1.

11) N012 M5; N013 M2 – выполняется остановка вращения шпинделя и завершение работы технологической программы.

Реальная работа привода в рассматриваемом режиме является нестандартной, влияние инерционных свойств механических частей станка, а также силы резания, могут привести к расхождению заданного числа оборотов шпинделя с их фактическим значением. Для отслеживания того, как привод обрабатывает задание в системе ЧПУ Sinumerik 840D, имеется встроенная функция серво-трейса, позволяющая построить график изменения заданной и фактической частоты вращения во времени и задания, а также сопоставить их (рис. 2).

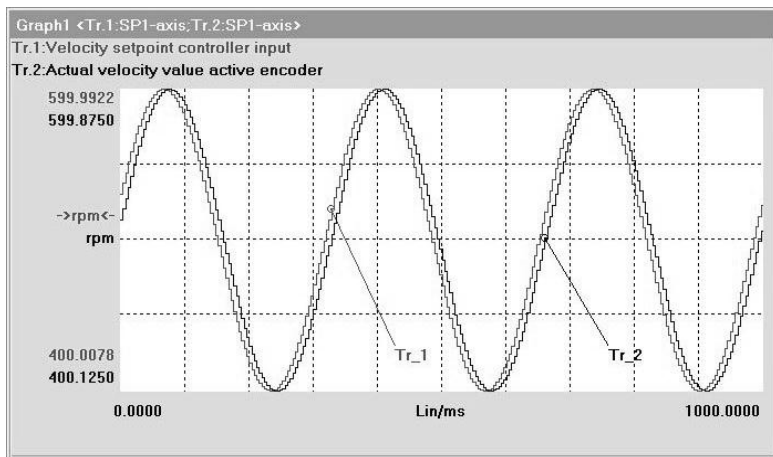


Рисунок 2 – График изменения частоты вращения шпинделя во времени:

Tr\_1 – заданное значение;

Tr\_2 – фактическое значение

Таким образом, современные станки с ЧПУ имеют возможности реализовать режимы резания с модулированием скоростью главного движения. Эти условия обработки позволяют подавлять автоколебания путем использования гибких средств программирования и диагностики работы приводов главного движения и движения подачи.

**Список использованных источников:** 1. SINUMERIK & SINAMICS. Системы автоматизации для станков / Каталог NC 61 • 2010. 2. *Alberteli P., Musletti S. and etc.* Spindle speed variation in turning: technological effectiveness and applicability to real industrial cases / *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, September 2012, Volume 62, Issue 1-4, pp. 59-67. 3. SIEMENS SINUMERIK 840D sl Synchronized actions – Function Manual. 4. *Eman A., Jun N. and etc.* Programming spindle speed variation for machining tool chatter suppression / *Interational Journal of Machine Tools and Manufacture*, September 2003, Volume 43, Issue 12, pp. 1229-1240. 5. *Alpay Y., Emad A. and etc.* Machine Tool Chatter Suppression by multi-level random spindle speed variation / *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, April 2002, Volume 124(2), pp. 208-216. 6. *Andreas O., Günter R.* Application of spindle speed variation for chatter suppression in turning / *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 2013, Volume 6, Issue 2, pp. 102-109.

**Bibliography (transliterated):** 1. SINUMERIK & SINAMICS. Sistemy avtomatizacii dlja stankov / Katalog NC 61 • 2010. 2. *Alberteli P., Musletti S. and etc.* Spindle speed variation in turning: technological effectiveness and applicability to real industrial cases / *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, September 2012, Volume 62, Issue 1-4, pp. 59-67. 3. SIEMENS SINUMERIK 840D sl Synchronized actions – Function Manual. 4. *Eman A., Jun N. and etc.* Programming spindle speed variation for machining tool chatter suppression / *Interational Journal of Machine Tools and Manufacture*, September 2003, Volume 43, Issue 12, pp. 1229-1240. 5. *Alpay Y., Emad A. and etc.* Machine Tool Chatter Suppression by multi-level random spindle speed variation / *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, April 2002, Volume 124(2), pp. 208-216. 6. *Andreas O., Günter R.* Application of spindle speed variation for chatter suppression in turning / *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 2013, Volume 6, Issue 2, pp. 102-109.