

Применение MSC.NASTRAN для моделирования механизмов

Абаимов С.Г., Жидяев К.А.

Доклад на третьей российской конференции пользователей MSC.NASTRAN.

В настоящее время, в связи с развитием вычислительной техники, при разработке сложных систем в различных областях техники появилась возможность моделирования динамического поведения этих систем с большой точностью. Однако такое моделирование невозможно без учета различных механизмов входящих в систему, таких как сервоприводы и манипуляторы.

MSC.NASTRAN позволяет моделировать такие механизмы, как относительное перемещение или вращение частей конструкции. Доклад посвящен отработке методики моделирования работы приводов вращения. Моделирование линейных двигателей проводится аналогично и может быть легко выполнено с помощью приводимой методики.

Ранее моделирование работы привода вращения проводилось нами с помощью удаления из состава конструкции одной из вращающихся частей и приложения на интерфейс силового или кинематического воздействия, рассчитанного с помощью других программных средств.

Предлагаемая нами методика позволяет проводить полное моделирование приводов вращения через использование команды MPC. Данной командой связываются перемещения двух граничных узлов конструкции с добавлением дополнительного смещения, зависящего от времени. Данная добавка производит скручивание граничных элементов, которые, раскручиваясь, приводят в движение остальную конструкцию. Таким образом источником возмущений служат перекрученные элементы интерфейса двух частей конструкции, разворот частей конструкции осуществляется с учетом их инерции, любые возмущения могут распространяться от одной части конструкции к другой через интерфейс.

Рассмотрим применение MSC.NASTRAN для моделирования манипулятора, нагруженного внешней силой, и меняющего свою геометрию (сгибание в шарнирном соединении).

Уравнение для угловых перемещений в шарнирном соединении будет иметь вид:

$$U_1 - U_2 = f(t); \quad (1)$$

где U_1 и U_2 - перемещения граничных узлов частей конструкции, а $f(t)$ - интеграл скорости вращения шарнира.

Применим метод больших масс для задания $f(t)$:

$$f(t) = U_M; \quad (2)$$

$$M \ddot{U}_M = F(t); \quad (3)$$

и карту MPC для записи уравнения (1).

Таким образом, выбирая должным образом силу $F(t)$, действующую на большую массу, мы получим колебания конструкции манипулятора с изменяющейся геометрией.

Фрагмент файла модели простейшего манипулятора приведен ниже. Манипулятор складывается относительно середины. При этом один его конец закреплен консольно, а на второй действует гармоническая сила в плоскости манипулятора перпендикулярно его оси.

```
SOL 109
TIME 600
CEND
SUBCASE 1
  SUBTITLE=vrsh
  DLOAD = 4
  SPC = 2
  MPC = 3
  TSTEP = 6
  DISPL=ALL
BEGIN BULK
PARAM POST -1
PARAM PATVER 3.
PARAM AUTOSPC no
PARAM COUPMASS 1
PARAM K6ROT 0.
PARAM WTMASS 1.
PARAM GRDPNT 0
PARAM,NOCOMPS,-1
PARAM PRTMAXIM YES
TSTEP,6,500,0.01
DLOAD,4,1,1,14,1,24
TLOAD2,14,15,0,0,0,10,1,270.
TLOAD2,24,25,0,0,0,10,0,0.
DAREA,15,21,2,.005
DAREA,25,23,1,500.
PBEAML 1 1 ROD + A
+ A .015 YES 1. .015 + B
SBEAM 1 1 1 2 0. 1. 0.
SBEAM 2 1 2 3 0. 1. 0.
SBEAM 3 1 3 4 0. 1. 0.
SBEAM 4 1 4 5 0. 1. 0.
SBEAM 5 1 5 6 0. 1. 0.
SBEAM 6 1 6 7 0. 1. 0.
SBEAM 7 1 7 8 0. 1. 0.
SBEAM 8 1 8 9 0. 1. 0.
SBEAM 9 1 9 10 0. 1. 0.
SBEAM 10 1 10 22 0. 1. 0.
SBEAM 11 1 11 12 0. 1. 0.
SBEAM 12 1 12 13 0. 1. 0.
SBEAM 13 1 13 14 0. 1. 0.
SBEAM 14 1 14 15 0. 1. 0.
SBEAM 15 1 15 16 0. 1. 0.
SBEAM 16 1 16 17 0. 1. 0.
SBEAM 17 1 17 18 0. 1. 0.
SBEAM 18 1 18 19 0. 1. 0.
SBEAM 19 1 19 20 0. 1. 0.
SBEAM 20 1 20 21 0. 1. 0.
```

```

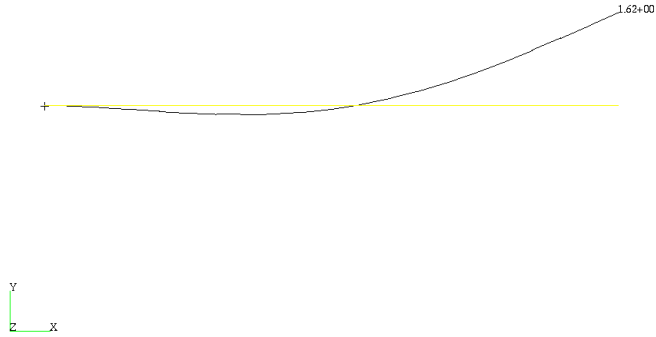
MAT1 1 7.+6 .33 .27
GRID 1 0. 0. 0.
GRID 2 .5 0. 0.
GRID 3 1. 0. 0.
GRID 4 1.5 0. 0.
GRID 5 2. 0. 0.
GRID 6 2.5 0. 0.
GRID 7 3. 0. 0.
GRID 8 3.5 0. 0.
GRID 9 4. 0. 0.
GRID 10 4.5 0. 0.
GRID 11 5. 0. 0.
GRID 12 5.5 0. 0.
GRID 13 6.0 0. 0.
GRID 14 6.5 0. 0.
GRID 15 7.0 0. 0.
GRID 16 7.5 0. 0.
GRID 17 8.0 0. 0.
GRID 18 8.5 0. 0.
GRID 19 9.0 0. 0.
GRID 20 9.5 0. 0.
GRID 21 10. 0. 0.
GRID 22 5. 0. 0.
GRID 23 5. 0. 0.
SPCADD 2 1
SPC1 1 123456 1
CONM2,100,23,,10000.,0.,0.,0.
+,10000.,,10000.,,10000.
MPC,3,22,1,1.,11,1,-1.
MPC,3,22,2,1.,11,2,-1.
MPC,3,22,3,1.,11,3,-1.
MPC,3,22,4,1.,11,4,-1.
MPC,3,22,5,1.,11,5,-1.
MPC,3,22,6,1.,11,6,-1.,,+
+,,23,1,1.
ENDDATA

```

Также приведены изображения манипулятора в разные характерные моменты времени для следующих трех конфигураций:

- манипулятор без моделирования вращения (рис.1, 4),
- манипулятор без моделирования вращения с большим моментом инерции, жестко прикрепленном посередине (рис. 2, 5),
- манипулятор с моделированием вращения (манипулятор складывается пополам) (рис. 3, 6).

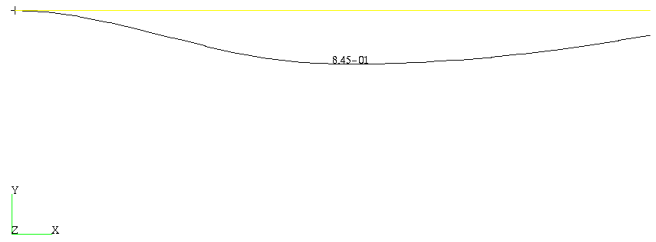
MSC/PATRAN Version 8.5.19-Oct-00 14:14:53
Deform: ZAKR, Time=1.28: Displacements, Translational



default_Deformation :
Max 1.62+00 @Nd 21

Рис.1.

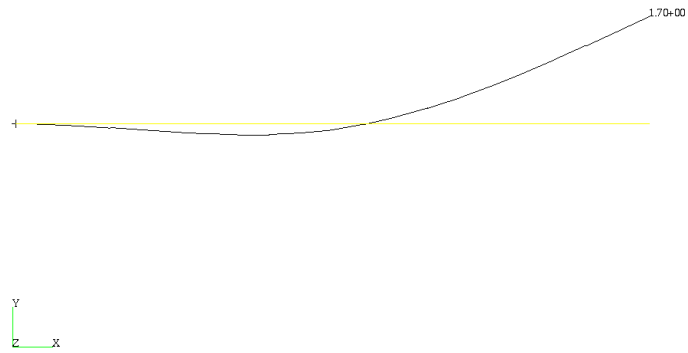
MSC/PATRAN Version 8.5.19-Oct-00 14:50:06
Deform: ZAKR, Time=1.28: Displacements, Translational



default_Deformation :
Max 8.45- 01 @Nd 11

Рис.2.

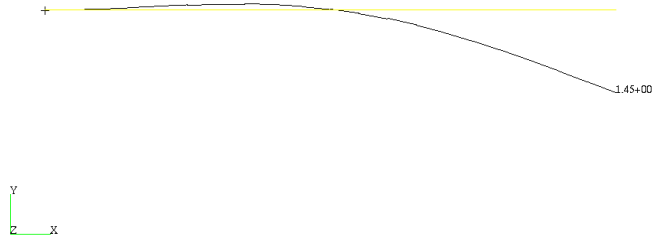
MSC/PATRAN Version 8.5.19-Oct-00 15:05:20
Deform: ZAKR, Time=1.28: Displacements, Translational



default_Deformation :
Max 1.70+00 @Nd 21

Рис.3.

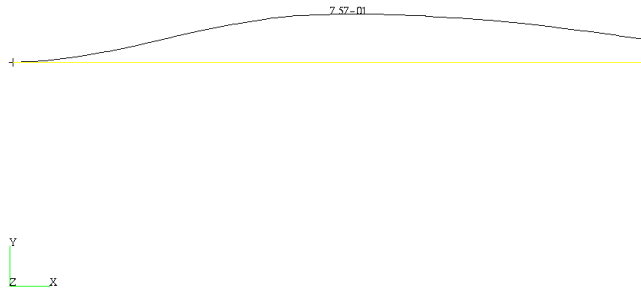
MSC/PATRAN Version 8.5.19-Oct-00 14:43:39
Deform: ZAKR, Time=3.85: Displacements, Translational



default_Deformation :
Max:1.45+00@Nd 21

Рис.4.

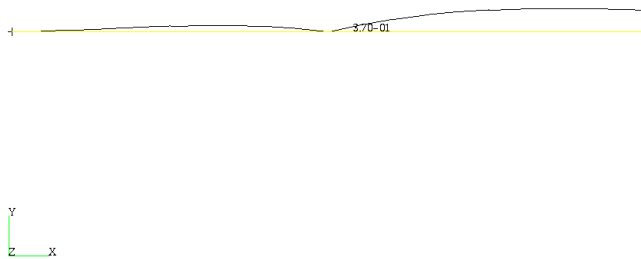
MSC/PATRAN Version 8.5.19-Oct-00 14:57:09
Deform: ZAKR, Time=3.85: Displacements, Translational



default_Deformation :
Max:7.57-01@Nd 11

Рис.5.

MSC/PATRAN Version 8.5.19-Oct-00 15:07:21
Deform: ZAKR, Time=3.85: Displacements, Translational



default_Deformation :
Max:3.70-01@Nd 23

Рис.6.

Видно, что поведение конструкции в первом и третьем случаях ввиду малого угла разворота манипулятора (угловое перемещение задавалось параболическим с целью минимизации разворота конструкции на начальном этапе для удобства при дальнейшем сравнении) почти совпадает в отличие от второго случая. Таким образом большая масса, закрепленная с помощью предлагаемой нами связи, не искажает поведения конструкции в отличие от второго случая, когда закрепление массы было жестким и возмущения, соответствующие степени свободы вращения манипулятора, не могли передаваться с одной части конструкции на другую.

Применение большой массы для моделирования относительного вращения или перемещения частей конструкции позволяет задавать его кинематически без учета инерционности ротора двигателя привода, хотя данный эффект может искусственно моделироваться заданием сложного закона изменения $f(t)$.

В реальных конструкциях механизмы приводятся в движение двигателями, имеющими конечную инерционность. В этом случае, масса M выбирается исходя из инерционности двигателя, а $F(t)$ является непосредственно силой, развиваемой двигателем. Тогда силовое воздействие при относительном повороте будет задаваться динамически. Нами построена схематическая модель вертолета, у которой на ротор двигателя, имеющий конечную массу, подается постоянная сила, а перемещение ротора относительно статора передается на два винта, вращающиеся в противоположные стороны, при помощи закона (1). Вертолет остается неподвижным, так как моменты вращения винтов компенсируют друг друга. После того, как винты раскрутятся, на одну из лопастей подается постоянная тормозящая сила. При этом второй винт и сам вертолет приобретают добавочный момент вращения.

Очевидно, что данный метод построения механизмов правильно передает поведение конструкции, содержащей в своем составе части, вращающиеся относительно друг друга.

С.Г. Абаимов

К.А. Жидяев