

Раздел 17

Внешние переменные, передаточные функции и элементы NOLIN

Раздел 17. Внешние переменные, передаточные функции и элементы NOLIN

| | |
|--|---------|
| • ВНЕШНИЕ ПЕРЕМЕННЫЕ..... | 17 - 3 |
| • ПЕРЕДАТОЧНЫЕ ФУНКЦИИ..... | 17 - 4 |
| • НЕЛИНЕЙНЫЕ СИЛОВЫЕ ФАКТОРЫ..... | 17 - 5 |
| • ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ СИЛ..... | 17 - 7 |
| • ЭЛЕМЕНТЫ NOLIN..... | 17 - 8 |
| • ПРИМЕР №13 – ЛИНЕЙНЫЙ АНАЛИЗ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ NOLIN..... | 17 - 10 |
| • ПРИМЕР №13 – ПЕРЕЕЗД АВТОМОБИЛЯ ЧЕРЕЗ НЕРОВНОСТЬ..... | 17 - 11 |
| • ВХОДНОЙ ФАЙЛ ДЛЯ ПРИМЕРА №13..... | 17 - 13 |
| • РЕЗУЛЬТАТЫ РЕШЕНИЯ ПРИМЕРА №13..... | 17 - 15 |

Внешние переменные

- Степени свободы, не связанные с конструкцией используются для представления не связанных с конструкцией переменных.
- Задаются оператором EPOINT в Bulk Data Section.
- Могут использоваться только в остаточной структуре для динамического анализа (E-set - часть набора D-set).
- Не подвержены никаким процедурам редуцирования, включая модальное редуцирование.
- Не могут использоваться как конструкционные СС.
- Не могут быть “связаны” (закреплены) посредством MPC или SPC.
- Могут использоваться только в матрицах прямого ввода типа Р и в передаточных функциях.
- Могут подвергаться динамическому нагружению только посредством оператора DAREA в Bulk Data Section.

Передаточные функции

- Передаточные функции (ПФ) используются для задания динамических связей в форме:

$$(b_0 + b_1 p + b_2 p^2) u_d + \sum_{i=1}^N (a_0 + a_1 p + a_2 p^2) u_i = 0$$

- где u_d - зависимая переменная
- u - независимая переменная
- p - оператор дифференцирования ($p = d/dt$)
- Эквивалентны матрицам типа P, вводимым оператором DMIG (M2PP, B2PP, K2PP)
- ПФ складываются с другими матрицами типа P. u_d определяет строку матрицы, к элементам которой будут добавлены коэффициенты b_0, b_1, b_2 . u_i определяет столбец, к элементам которого будут добавлены коэффициенты a_0, a_1 , и a_2 .
- Задаются оператором TF в Bulk Data Section, который иницируется оператором TFL в Case Control Section.

Нелинейные силовые факторы

- Нелинейные силовые факторы, прикладываемые к узлам

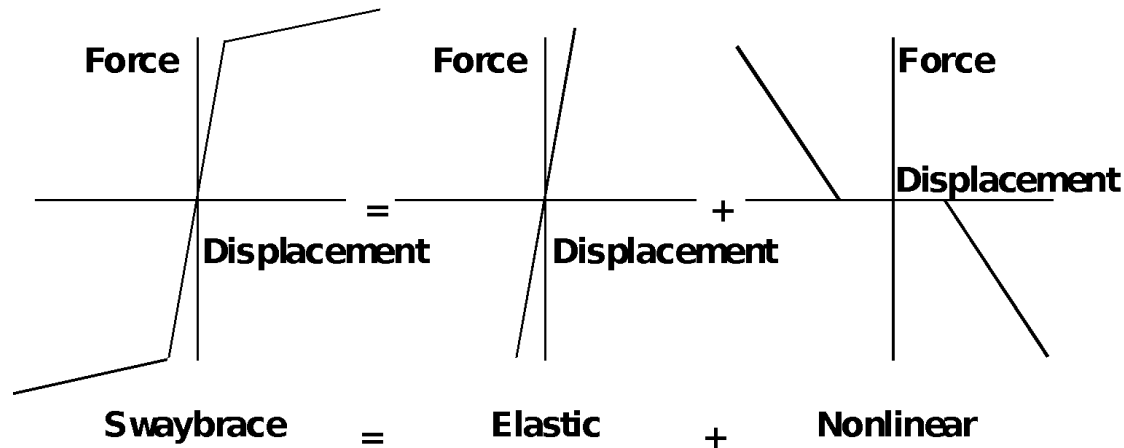
$$M\ddot{u}(t) + B\dot{u}(t) + Ku(t) = P(t) + N(t)$$

- $N(t)$ – нелинейная сила (момент), являющаяся функцией перемещения или скорости.
- Задаются операторами NOLINi в Bulk Data Section, иницируемые оператором NONLINEAR Case Control Section.
- Применяются только при анализе переходного процесса (должны прикладываться к переменным E-set при модальном методе решения или к переменным D-set при прямом методе решения).

Нелинейные силовые факторы

- Нелинейные силы представляют отклонения от линейных зависимостей.

$$M\ddot{u}(t) + B\dot{u}(t) + Ku(t) = P(t) + N(t)$$



- Наиболее просто используется при прямом методе решения: нелинейная сила просто прикладывается к узлу. Модальный метод предполагает использование внешних переменных и передаточных функций, т.к. при модальной формулировке только к переменным E-set могут прикладываться нелинейные силы.

Особенности использования нелинейных сил

- Нелинейные силы вычисляются по результатам, полученным на предыдущем шаге.

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{u}}(\mathbf{t}) + \mathbf{B}\dot{\mathbf{u}}(\mathbf{t}) + \mathbf{K}\mathbf{u}(\mathbf{t}) = \mathbf{P}(\mathbf{t}) + \mathbf{N}(\mathbf{t} - \Delta \mathbf{t})$$

- Меньшее значение Δt позволит получить большую точность.
- Нелинейные силы м.б. приложены только к переменным D-set (A-set + E-set) при прямом методе и H-set (modal set + E-set) при модальном методе. СС, к которым прикладываются нелинейные силы, не могут быть в наборе O-set, так же как и быть зависимыми.
- При приложении сил по направлениям, не совпадающим с направлениями глобальной системы координат, необходимо использовать локальные системы координат. Отладьте эти приемы на “пилотной” модели.

Элементы NOLINS

- **NOLIN1 – нелинейная сила в форме таблицы**

- **Функция перемещения** $P_i(t_n) = ST(u_j(t_n))$

- **Функция скорости**

$$P_i(t) = ST(\dot{u}_j(t_n))$$

$$\text{where } \dot{u}(t_n) = \frac{u(t_n) - u(t_{n-1})}{\Delta t}$$

- **NOLIN2 – нелинейная сила в форме “произведения” двух таблиц**

$$P_i(t_n) = S X_j(t_n) X_k(t_n)$$

- где X_j и X_k могут быть значениями двух перемещений или же двумя значениями одного и того же перемещения

Элементы NOLINS

- **NOLIN3 – нелинейная сила в форме экспоненциальной функции положительного аргумента**

$$P_i(t_n) = \begin{cases} S(X_j(t_n))^A, & X_j(t_n) > 0 \\ 0, & X_j(t_n) \leq 0 \end{cases}$$

- где X_j может быть как перемещением, так и скоростью
- **NOLIN4 - нелинейная сила в форме отрицательного значения экспоненциальной функции отрицательного аргумента**

$$P_i(t_n) = \begin{cases} -S(-X_j(t_n))^A, & X_j(t_n) < 0 \\ 0, & X_j(t_n) \geq 0 \end{cases}$$

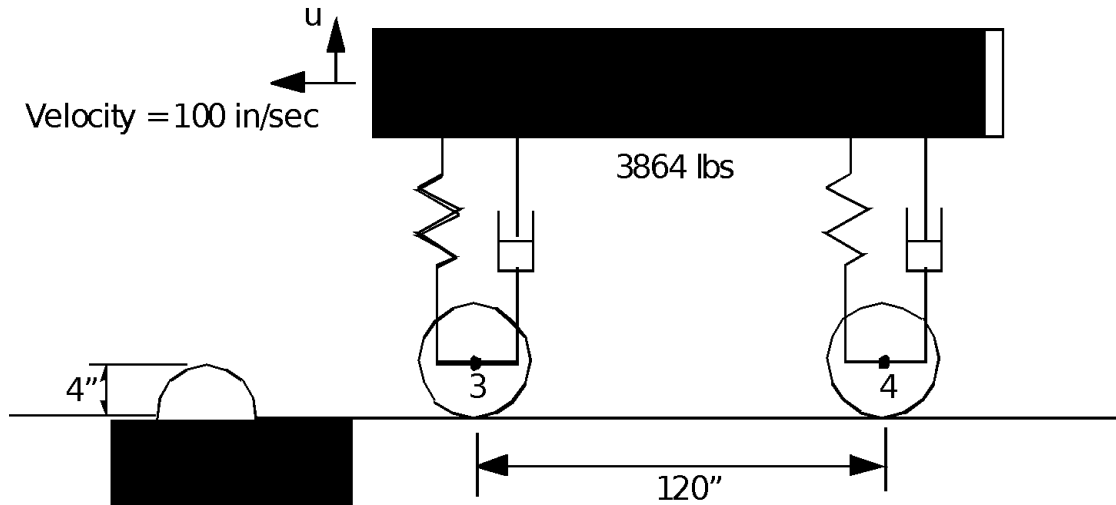
- где X_j может быть как перемещением, так и скоростью

Пример №13

**Нелинейный анализ переходного
процесса с использованием элементов
NOLIN**

Пример №13. Переезд автомобиля через неровность

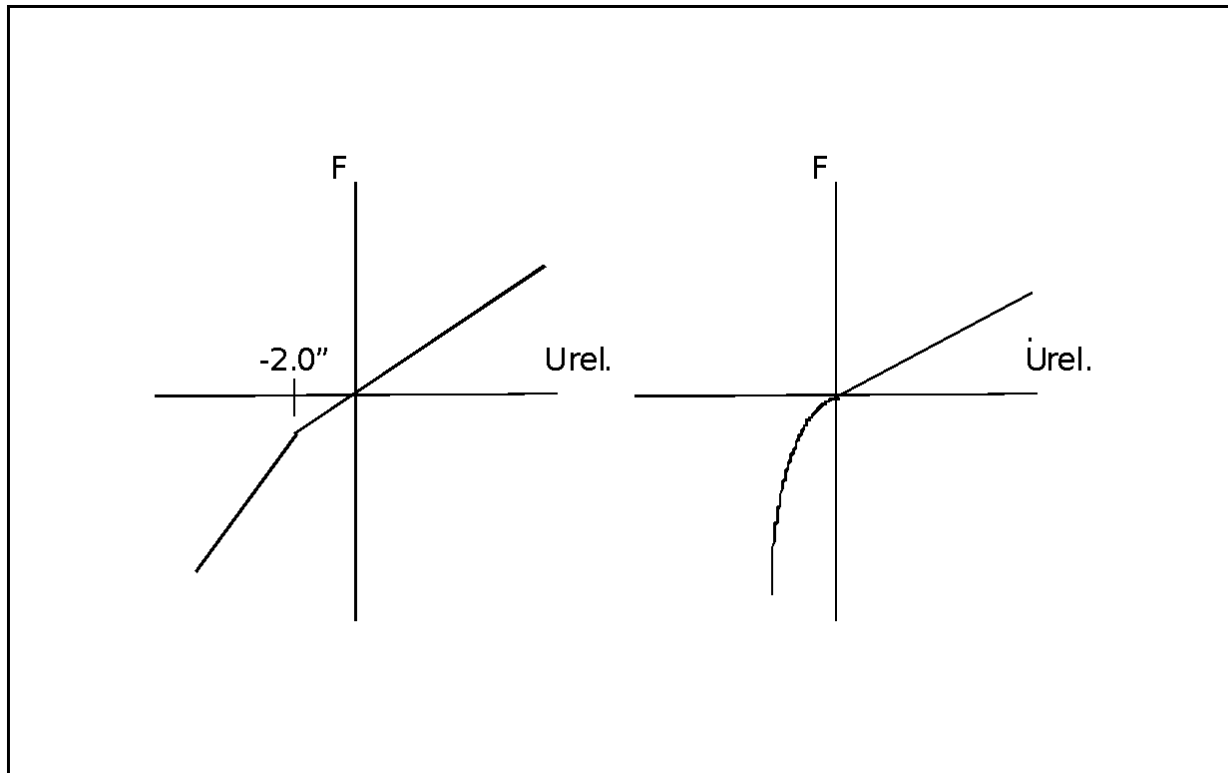
- Выполните моделирование переезда автомобиля через неровность, используя элементы NOLIN.



$$k: \begin{cases} u \geq -2.0\text{in} & 197.4 \text{ lb/in} \\ u < -2.0\text{in} & 394.8 \text{ lb/in} \end{cases}$$

$$c: \begin{cases} \dot{u} \geq 0 & 1.88 \text{ lb/(in/sec)} \\ \dot{u} \leq 0 & 1.88 \text{ lb/(in/sec)} + 0.3 \text{ lb/(in/sec)}^2 \end{cases}$$

Пример №13. Переезд автомобиля через неровность



Входной файл для Примера №13

```
ID NAS102, WORKSHOP13
SOL 109
TIME 100
CEND
TITLE= SIMPLE CAR MODEL WITH NONLINEAR
SUBTITLE= SPRINGS AND DAMPERS RUNNING
OVER A BUMP
LABEL= SOL 109, CONSTANT DELTA TIME
SEALL= ALL
SPC= 100
TFL= 100
NONLINEAR = 100
DLOAD = 100
TSTEP = 100
DISPLACEMENT(PLOT)= ALL
NLLOAD(PLOT)= ALL
$
OUTPUT(XYPLOT)
CSCALE=1.3
XAXIS= YES
YAXIS= YES
XGRID LINES= YES
YGRID LINES= YES
XTITLE= TIME (SEC)
YTITLE= VERTICAL DISPLACEMENT OF POINT 1
XYPLOT DISP/1(T2)
YTITLE= VERTICAL DISPLACEMENT OF POINT 2
XYPLOT DISP/2(T2)
YTITLE= VERTICAL DISPLACEMENT OF POINT 3
XYPLOT DISP/3(T2)
```

```
YTITLE= VERTICAL DISPLACEMENT OF POINT 4
XYPLOT DISP/4(T2)
YTITLE= VERTICAL DISPLACEMENT OF POINT 5
XYPLOT DISP/5(T2)
YTITLE= NONLINEAR FORCES AT POINT 1
XYPLOT NONLINEAR/1(T2)
YTITLE= NONLINEAR FORCES AT POINT 2
XYPLOT NONLINEAR/2(T2)
$
BEGIN BULK
PARAM,POST,-1
$
$ CARRIAGE POINTS
$
GRID, 1, , 0., 0., 0.
GRID, 2, , 120., 0., 0.
GRID, 5, , 60., 0., 0.
$
$WHEEL POINTS
$
GRID, 3, , 0., -10., 0.
GRID, 4, , 120., -10., 0.
$
$ CAR CARRIAGE
$
CBAR, 5, 11, 1, 5, 0., 1., 0.
CBAR, 6, 11, 5, 2, 0., 1., 0.
PBAR, 11, 12, 10., 10., 10.
MAT1, 12, 3.0E+7, , .33
$
```

Входной файл для Примера №13

```
$
$ CONSTRAINTS TO ELIMINATE RIGID-BODY MODES
$
SPC1, 100, 1345, 1, 2, 5
SPC1, 100, 13456, 3, 4
$
$ SYSTEM WILL HAVE A NATURAL FREQUENCY OF 1 HZ
$ WITH CRITICAL DAMPING OF 1 PERCENT
$
CONM2, 10, 1, ,2.5
CONM2, 15, 2, ,2.5
CONM2, 20, 5, ,5.
$
CELAS2, 30, 197.4, 1, 2, 3, 2
CELAS2, 40, 197.4, 2, 2, 4, 2
$
CDAMP2, 50, 1.88, 1, 2, 3, 2
CDAMP2, 60, 1.88, 2, 2, 4, 2
$
$ DEFINE EXTRA POINTS TO HOLD DIFFERENCES
$ BETWEEN WHEELS AND CARRIAGE
$
EPOINT, 101, 102
$
$ USE TRANSFER FUNCTIONS TO TRACK DIFFERENCES
$ 101= V1 - V3
$ 102= V2 - V4
$
TF, 100, 101, 0, 1., 0., 0.,
, 1, 2, -1., 0., 0.,
, 3, 2, 1., 0., 0.
$
TF, 100, 102, 0, 1., 0., 0.,
, 2, 2, -1., 0., 0.,
, 4, 2, 1., 0., 0.
$
$ ADD NONLINEAR PORTION OF SPRINGS
$
NOLIN1, 100, 1, 2, 197.4, 101, 0, 111
NOLIN1, 100, 2, 2, 197.4, 102, 0, 111
TABLED2, 111, -2.0,
, -1., 1., 0., 0., 1., 0.,ENDT
$
$ ADD NONLINEAR PORTION OF DAMPERS
$
NOLIN4, 100, 1, 2, -0.3, 101, 10, 2.
NOLIN4, 100, 2, 2, -0.3, 102, 10, 2.
$
$ MOVE WHEELS OVER BUMP
$
TLOAD2, 100, 222, 333, D, 0., 0.5, 1., -90.
SPCD, 222, 3, 2, 4.
SPCD, 222, 4, 2, 4.
SPC1,100,2,3,4

DELAY, 333, 4, 2, 1.2
$
$ INTEGRATION INFORMATION
TSTEP, 100, 200, .05, 1
$
ENDDATA
```

Результаты решения Примера №13

```

0
0 SUBCASE CURVE FRAME
  ID      TYPE  NO.
0      1  NONLIN   1
      1( 4)  0.000000E+00  1.000002E+01  0.000000E+00  0.000000E+00  2.975151E+02  6.000001E-01
      0.000000E+00  1.000002E+01  0.000000E+00  0.000000E+00  2.975151E+02  6.000001E-01
0      1  NONLIN   2
      2( 4)  0.000000E+00  1.000002E+01  0.000000E+00  0.000000E+00  4.661460E+02  1.749999E+00
      0.000000E+00  1.000002E+01  0.000000E+00  0.000000E+00  4.661460E+02  1.749999E+00

```

.
.

.

.

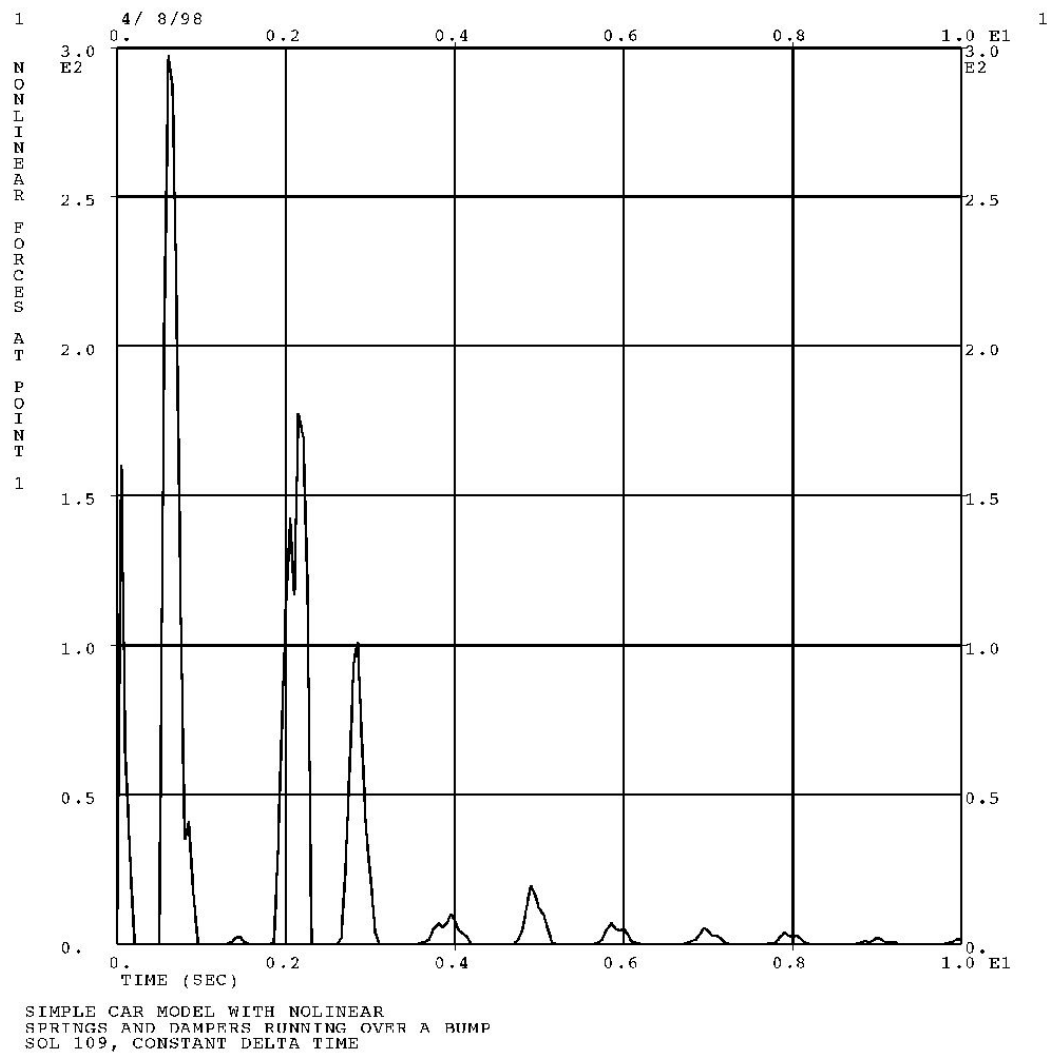
.

```

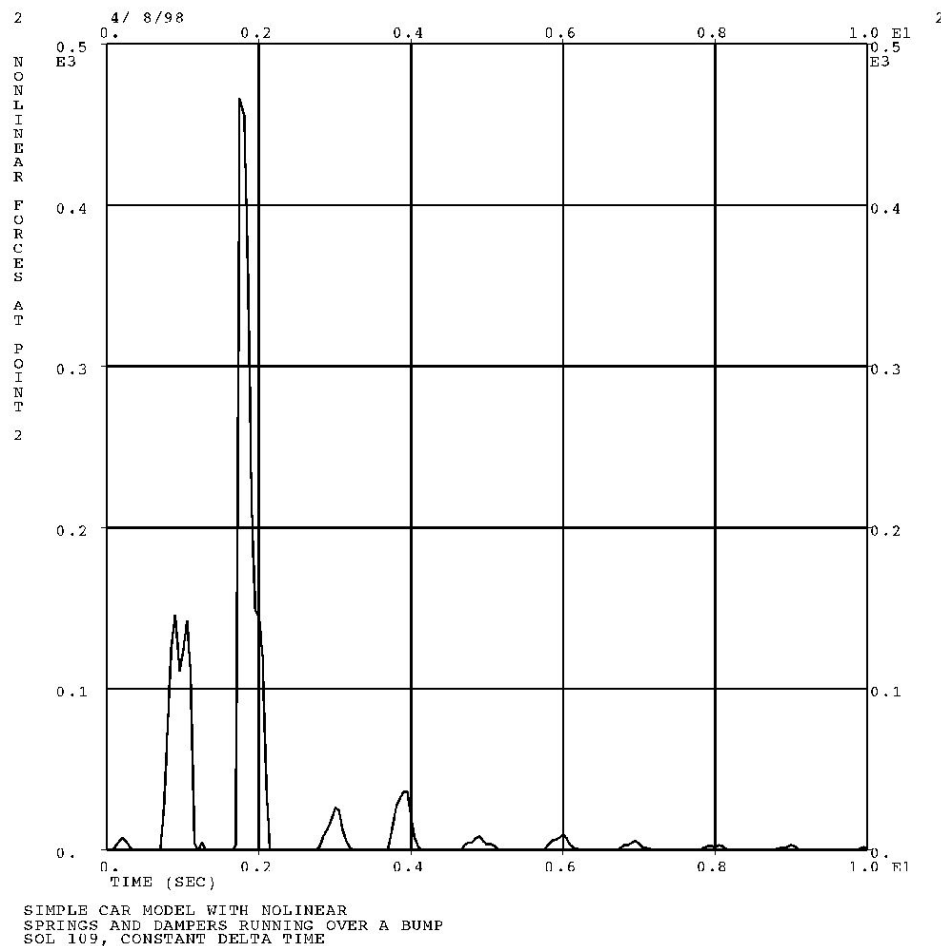
0
0 SUBCASE CURVE FRAME
  ID      TYPE  NO.
0      1  DISP    3
      1( 4)  0.000000E+00  1.000002E+01 -2.836541E+00  2.199999E+00  5.942877E+00  4.500000E-01
      0.000000E+00  1.000002E+01 -2.836541E+00  2.199999E+00  5.942877E+00  4.500000E-01
0      1  DISP    4
      2( 4)  0.000000E+00  1.000002E+01 -2.671688E+00  1.999999E+00  7.464219E+00  1.600000E+00
      0.000000E+00  1.000002E+01 -2.671688E+00  1.999999E+00  7.464219E+00  1.600000E+00
0      1  DISP    5
      3( 4)  0.000000E+00  1.000002E+01  0.000000E+00  0.000000E+00  4.000000E+00  2.500000E-01
      0.000000E+00  1.000002E+01  0.000000E+00  0.000000E+00  4.000000E+00  2.500000E-01
0      1  DISP    6
      4( 4)  0.000000E+00  1.000002E+01  0.000000E+00  0.000000E+00  4.000000E+00  1.450000E+00
      0.000000E+00  1.000002E+01  0.000000E+00  0.000000E+00  4.000000E+00  1.450000E+00
0      1  DISP    7
      5( 4)  0.000000E+00  1.000002E+01 -2.150819E+00  2.149999E+00  3.963917E+00  1.600000E+00
      0.000000E+00  1.000002E+01 -2.150819E+00  2.149999E+00  3.963917E+00  1.600000E+00

```

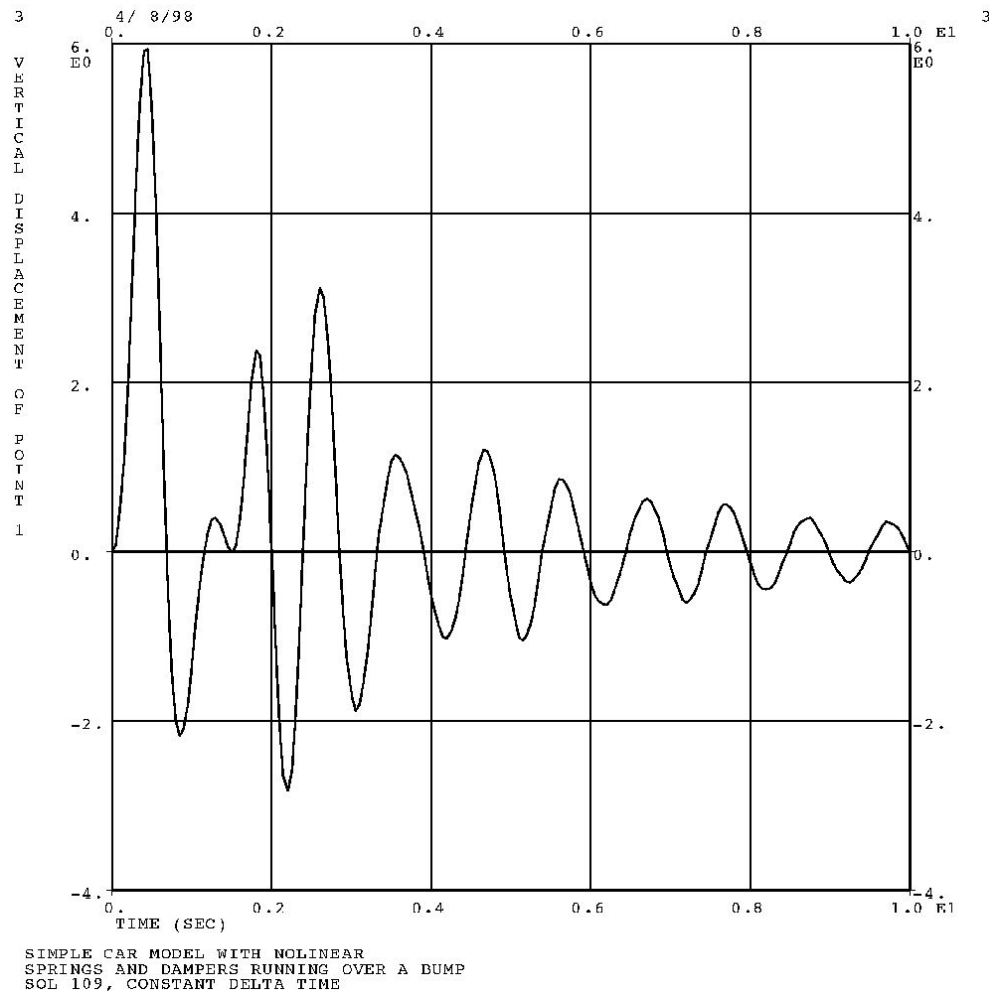
Результаты решения Примера №13



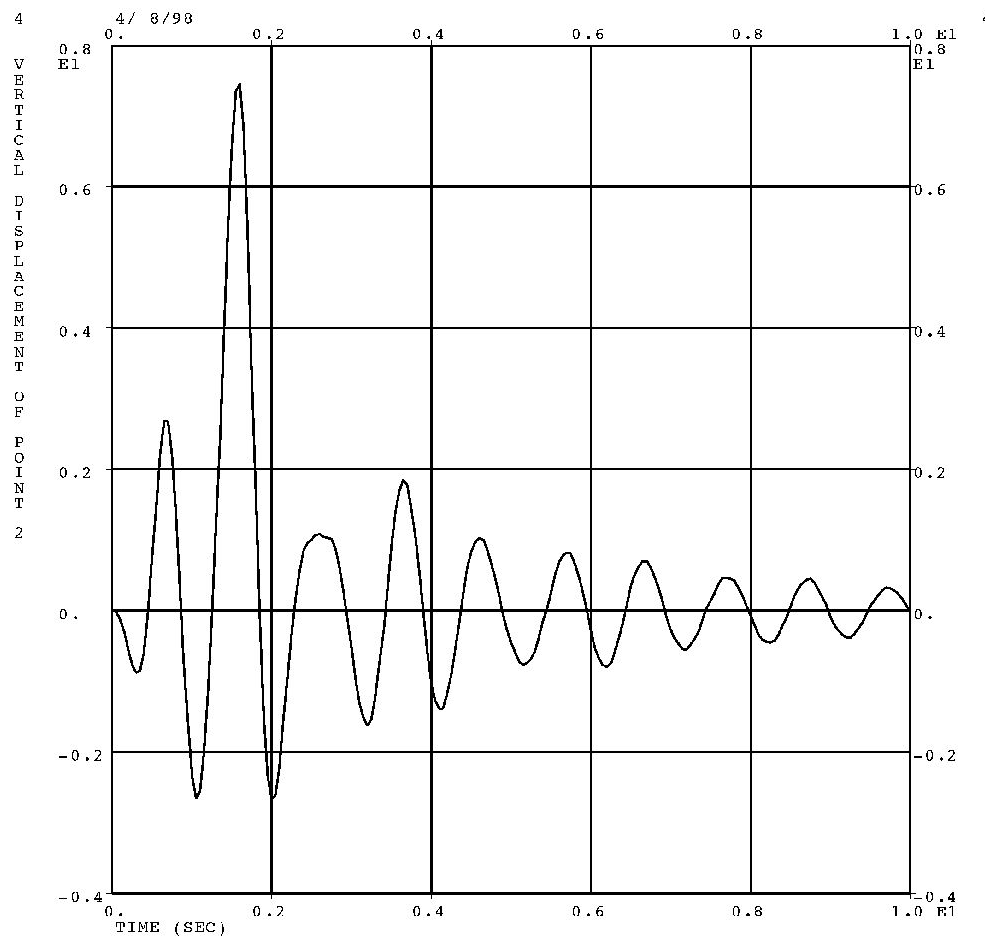
Результаты решения Примера №13



Результаты решения Примера №13

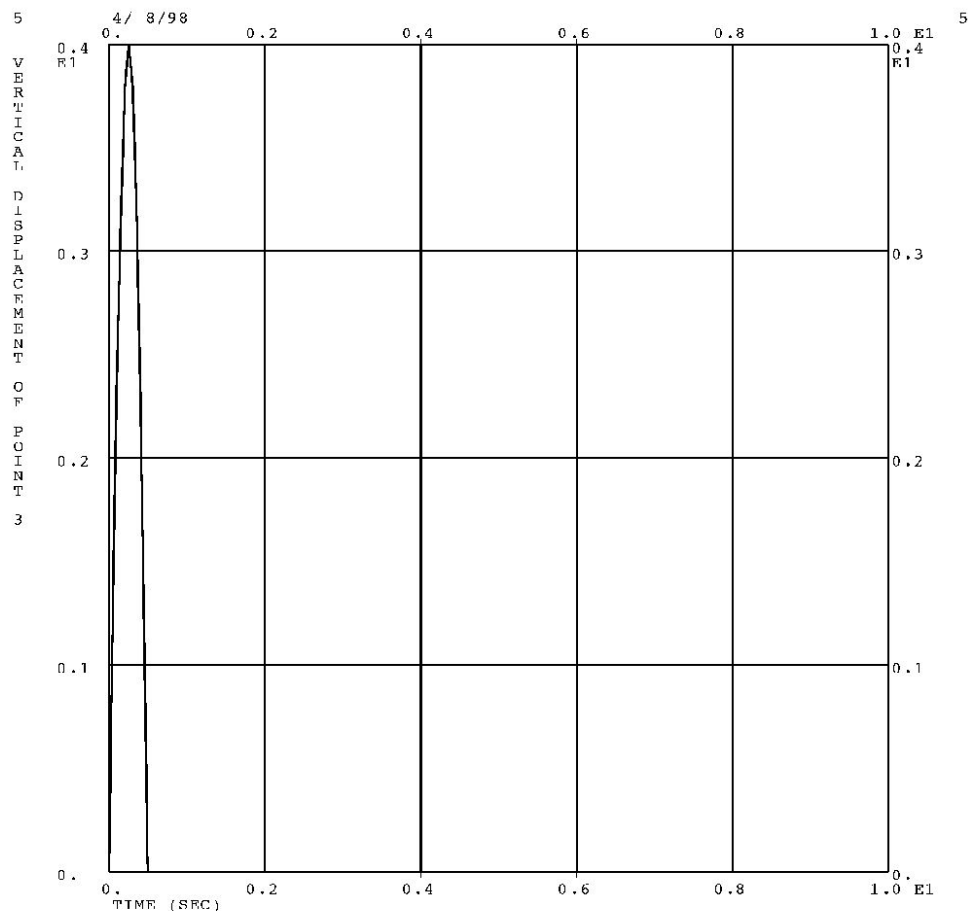


Результаты решения Примера №13



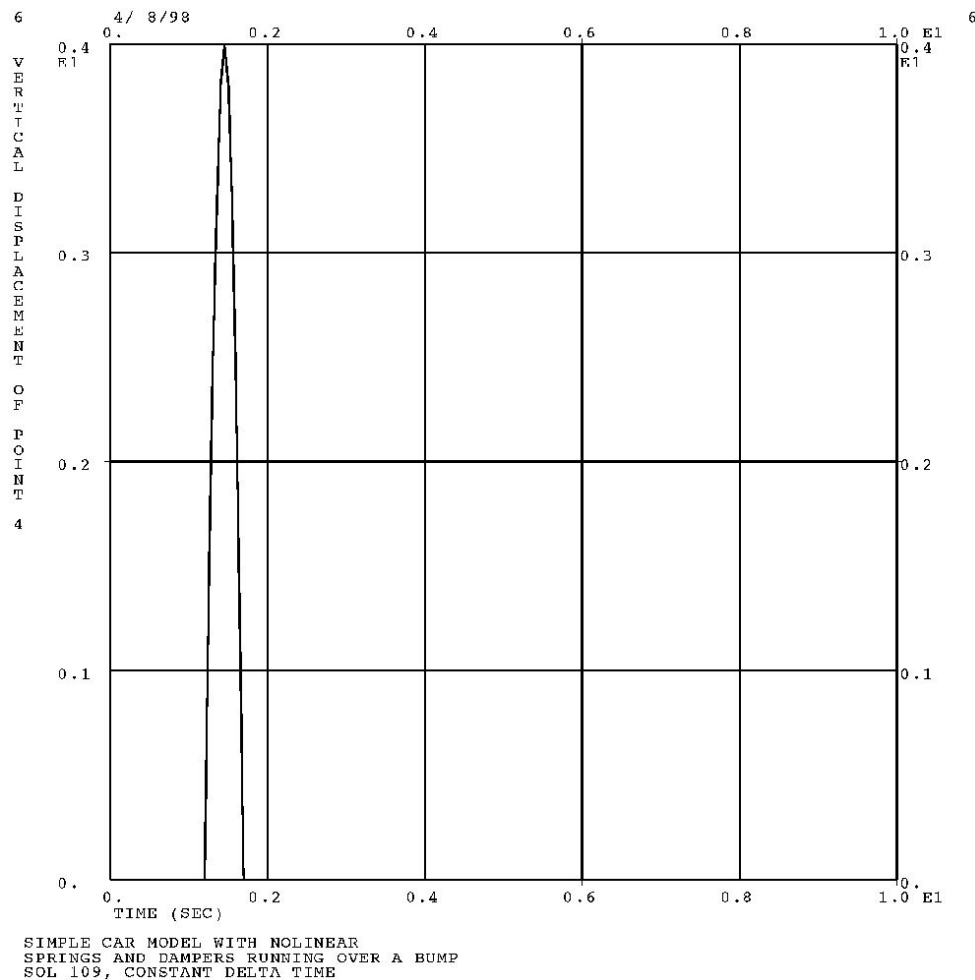
SIMPLE CAR MODEL WITH NOLINEAR
SPRINGS AND DAMPERS RUNNING OVER A BUMP
SOL 109, CONSTANT DELTA TIME

Результаты решения Примера №13

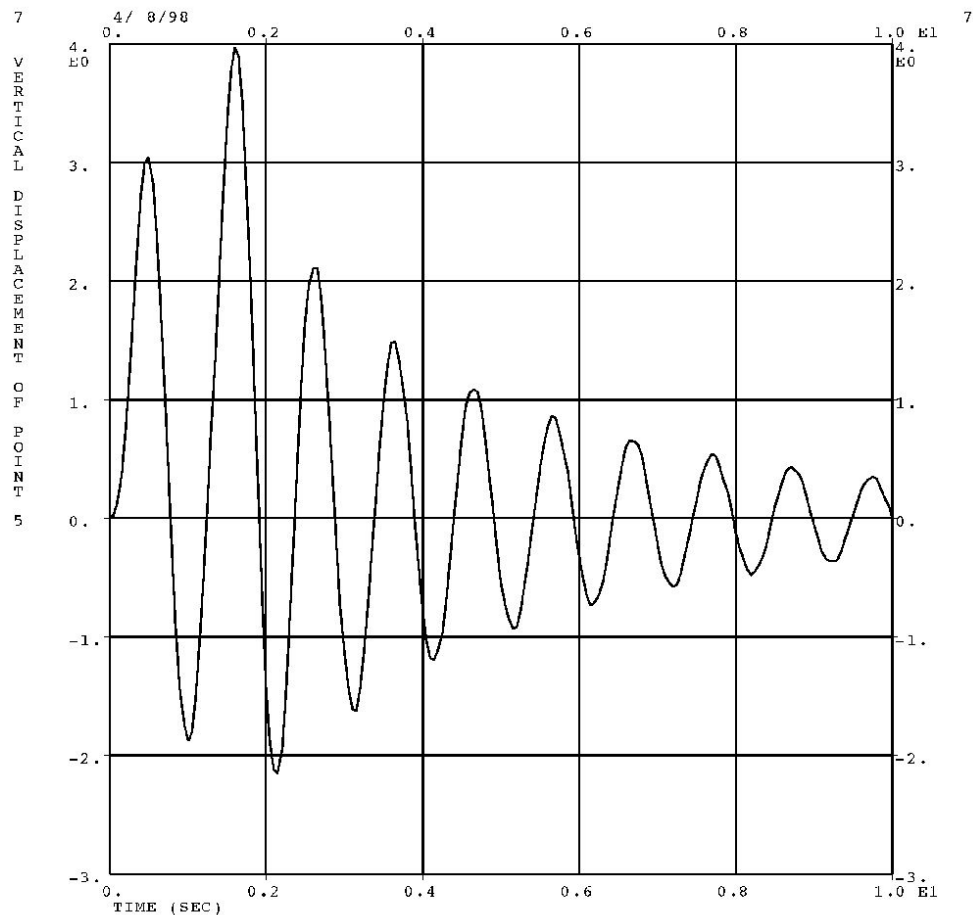


SIMPLE CAR MODEL WITH NONLINEAR
SPRINGS AND DAMPERS RUNNING OVER A BUMP
SOL 109, CONSTANT DELTA TIME

Результаты решения Примера №13



Результаты решения Примера №13



SIMPLE CAR MODEL WITH NOLINEAR
SPRINGS AND DAMPERS RUNNING OVER A BUMP
SOL 109, CONSTANT DELTA TIME