



Государственный комитет
СССР
по делам изобретений
и открытий

О П И С А Н И Е ИЗОБРЕТЕНИЯ

К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

(61) Дополнительное к авт. свид-ву —

(22) Заявлено 24.10.77 (21) 2539748/18-24

с присоединением заявки № —

(23) Приоритет —

Опубликовано 30.06.80. Бюллетень № 24

Дата опубликования описания 30.06.80

(11) 744651

(51) М. Кл.²

G 06 G 7/68

(53) УДК 681.333
(088.8)

(72) Автор
изобретения

В.М. Овсянко

(71) Заявитель

Белорусский ордена Трудового Красного Знамени
политехнический институт

(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СТЕРЖНЯ

1

Изобретение относится к аналого-вой вычислительной технике и предназначено для моделирования конструкций с нелинейно работающими стержнями.

Известны устройства, предназначенные для расчета стержневых систем, содержащие резистивные сетки и функциональные преобразователи [1].

Недостатками известных устройств являются узость функциональных возможностей, необходимость ручного многоциклового уравнивания.

Наиболее близким по технической сущности к предлагаемому является устройство, содержащее R-сетку, инверторы, усилитель и источники опорного напряжения [2].

Недостатком известного устройства является узость функциональных возможностей, оно может моделировать стержни, выполненные только из линейного материала. Если стержни выполнены из нелинейного материала, что соответствует их реальной работе, указанное устройство не может быть применено.

Цель изобретения — расширение его функциональных возможностей.

2

Поставленная цель достигается тем, что в устройство введены сумматор, блоки умножения, выпрямительные элементы и дополнительные резисторы, причем первая узловая точка R-сетки через соответствующий резистор и через цепочку из последовательно соединенных первого блока умножения и первого инвертора соединена со входом первого выпрямительного элемента, вторая узловая точка R-сетки через соответствующий резистор и через цепочку из последовательно соединенных второго блока умножения и второго инвертора подключена ко входу второго выпрямительного элемента, третья узловая точка R-сетки через соответствующий резистор и через цепочки из последовательно соединенных третьего блока умножения и третьего инвертора соединена со входом первого выпрямительного элемента, четвертая узловая точка R-сетки через соответствующий резистор и через цепочки из последовательно соединенных четвертого блока умножения и четвертого инвертора подключена ко входу второго выпрямительного эле-

10

15

20

25

3

мента, пятая узловая точка R-сетки через соответствующие резисторы соединена с первой и третьей узловой точками и непосредственно подключена к выходу сумматора, первый вход которого соединен с шестой узловой точкой R-сетки, через соответствующие резисторы подключенной ко второй и четвертой узловым точкам R-сетки и непосредственно соединенной с выходом усилителя, вход которого подключен к выходам первого и второго выпрямительных элементов, седьмая узловая точка R-сетки через соответствующие резисторы соединена с первой, второй, третьей и четвертой узловыми точками, со вторым входом сумматора и через третий и четвертый выпрямительные элементы — соответственно с первым и вторым источниками опорного напряжения, выходы первого и третьего блоков умножения подключены ко входу второго выпрямительного элемента, выходы второго и четвертого блоков умножения соединены со входом первого выпрямительного элемента и через резисторы с седьмой узловой точкой, третий и четвертый источники опорного напряжения подключены ко входам первого и третьего выпрямительных элементов.

На фиг. 1 приведена схема устройства для моделирования нелинейно работающего стержня; на фиг. 2 показан график нелинейной зависимости между напряжением σ и относительным удлинением стержня ϵ , работающим на продольное усилие.

Устройство содержит узловые точки 1-7, резисторы 8-21, проводимости которых равны соответственно $2g, g, g, 2g, g, g, 2g_0, g_0, g_0, 2g_0, g_0, g_0, g, g_0$, блоки 22-25 умножения, для которых отношения сопротивлений обратной связи и входного равны

$\frac{R_0}{R_1} = 2$, инверторы 26-29 напряжения, для которых отношение сопротивлений обратной связи и выходного равны

$\frac{R_0}{R} = 1$, сумматор 30 напряжений с двумя входами, причем отношение сопротивлений обратной связи и входного

для первого входа равно $\frac{R_0}{R} = 1$, для второго входа равно $\frac{R_0}{R_1} = 2$, усилитель 31, выпрямительные элементы 32-35, сопротивления входных резисторов элементов 34, 35 равны соответственно R_2, R_2, R_3, R_3, R_4 и R_2, R_2, R_3, R_3, R_5 , источники 36-39 опорного напряжения, равные e_1, e_2, e_3, e_4 .

При расчете комбинированных систем и форм, содержащих нелинейно работающие стержни, заранее неизвест-

но, на каком из участков диаграммы работает стержень. Учет сложного характера работы материала при расчете статически неопределимых конструкций можно выполнить только с помощью предлагаемого устройства.

Для участков диаграммы I-V напряжения в сечении стержня и усилия в нем равны соответственно

$$\begin{aligned} \sigma_I &= \text{tg} \theta \cdot \epsilon, & \sigma_{II} &= \text{tg} \theta \cdot Z_1, \\ \sigma_{III} &= \text{tg} \theta \cdot Z_1 + (\epsilon - Z_3) \text{tg} \beta, \\ -\sigma_{IV} &= -\text{tg} \theta \cdot Z_2, \\ \sigma_V &= -\text{tg} \theta \cdot Z_2 + (\epsilon - Z_4) \text{tg} \psi, \\ N_i &= F \cdot \sigma_i. \end{aligned} \quad (1)$$

$$i = I, II, III, IV, V,$$

где F — площадь сечения стержня, $\text{tg} \beta$, $\text{tg} \psi$ и $\text{tg} \theta$ имеют смысл модуля упругости материала.

Относительное удлинение стержня ϵ для стержня длиной l равно

$$\epsilon = (x_i - x_k) \frac{\cos \alpha}{l} + (y_i - y_k) \frac{\sin \alpha}{l}, \quad (2)$$

где α — угол наклона стержня, работающего на продольное усилие, к горизонтальной линии, x_i и x_k , y_i и y_k — соответственно горизонтальные и вертикальные перемещения концов стержня i и k .

Подставив уравнения (2) в (1), получим пять вариантов усилий в стержне. Проекция усилия в стержне на горизонтальную и вертикальную оси для левого и правого концов определяются следующим образом

$$\begin{aligned} N_i \cos \alpha &= F \cdot \sigma_i \cdot \cos \alpha, \\ -N_i \cos \alpha &= -F \cdot \sigma_i \cdot \cos \alpha, \\ N_i \sin \alpha &= F \cdot \sigma_i \cdot \sin \alpha, \\ -N_i \sin \alpha &= -F \cdot \sigma_i \cdot \sin \alpha, \end{aligned} \quad (3)$$

$$i = I, II, III, IV, V,$$

т.е. стержень определяется пятью различными вариантами усилия (после подстановки из (1) пяти вариантов напряжений).

Определить, на каком из пяти участков диаграммы работает в данный момент стержень, можно только с помощью предлагаемого устройства, которое содержит информацию о всех пяти возможных вариантах работы стержня. В устройстве напряжение U_A , обрабатываемое в узловой точке 7, с учетом того, что отношение сопротивлений резисторов обратной связи и входного для блоков умножения 23 и 25 $\frac{R_0}{R_1} = 2$, равно

$$U_A = (U_1 - U_2) \frac{g}{3(g+g_0)} + (U_3 - U_4) \frac{g_0}{3(g+g_0)}. \quad (4)$$

Если потенциал узловой точки 7 равен φ_j ($j=1, 2$), то $U_A = \varphi_j$ (5)

На выходе усилителя 31 отрабатывается напряжение U_B (для выпрямительного элемента 34)

$$U_B = 0 \quad \text{при} \quad 0 < 2 \left(U_1 - U_2 + U_3 \frac{R_2}{R_3} - U_4 \frac{R_2}{R_3} \right) \leq \left| \ell_3 \frac{R_2}{R_4} \right|$$

$$U_B = \frac{R_0}{R_2} \left[2 \left(U_1 - U_2 + U_3 \frac{R_2}{R_3} - U_4 \frac{R_2}{R_3} \right) - \ell_3 \frac{R_2}{R_4} \right]$$

при $2 \left(U_1 - U_2 + U_3 \frac{R_2}{R_3} - U_4 \frac{R_2}{R_3} \right) > \left| \ell_3 \frac{R_2}{R_4} \right|$ (6)

Суммарное напряжение выпрямительного элемента 34, на входы которого подаются положительные и отрицательные напряжения с узловых точек 1-4, соответствует положительному удлинению стержня. Если стержень укорачивается, то ξ становится отрицательным. На выпрямительный элемент 35, подключенный к усилителю 31, подаются суммарное напряжение, эквивалентное инвертированной величине ξ , поэтому на его четыре входа подаются те же напряжения, что и на элемент 34, но только в инвертированном виде. Тогда на выходе усилителя 31 отрабатывается напряжение U_B , определяемое по формулам (6), в которых вместо величины

$$\ell_3 \frac{R_2}{R_4} \quad \text{стоит величина} \quad \ell_4 \frac{R_2}{R_5}$$

Величины электрического тока для узловых точек 1-4 определяются следующими уравнениями

$$J_{11} = 4gU_1 - 2g \cdot 2U_1 - U_A g + g(2U_A + U_B) = g(U_A + U_B) \quad (7)$$

$$J_{2i} = -g(U_A + U_B),$$

$$J_{3i} = g(U_A + U_B),$$

$$J_{4i} = -g(U_A + U_B),$$

$$i = I, II, III, IV, V,$$

где U_A и U_B определяются по формулам (4-6).

Уравнения (3) и (7) аналогичны, если

$$J_{1i} = \gamma_i N_i \cos \alpha, \quad J_{2i} = \gamma_i (-N_i \cos \alpha),$$

$$J_{3i} = \gamma_i N_i \sin \alpha, \quad J_{4i} = \gamma_i (-N_i \sin \alpha).$$

$$i = I, II, III, IV, V \quad (8)$$

$$U_1 = \gamma_u x_i, \quad U_2 = \gamma_u x_k,$$

$$U_3 = \gamma_u y_i, \quad U_4 = \gamma_u y_k.$$

$$g = k z (\cos^2 \alpha + \sin \alpha \cos \alpha) \operatorname{tg} \theta \frac{F}{\ell},$$

$$g_0 = g \operatorname{tg} \alpha = k z (\sin^2 \alpha + \sin \alpha \cos \alpha) \operatorname{tg} \theta \frac{F}{\ell},$$

$$\ell_1 = \frac{\delta_1 \cdot z_1 \cdot \ell}{3(\cos \alpha + \sin \alpha)}, \quad \ell_2 = \frac{\delta_1 \cdot z_2 \cdot \ell}{3(\cos \alpha + \sin \alpha)},$$

$$\frac{R_0}{R_2} = \frac{\operatorname{tg} \beta}{6 \operatorname{tg} \theta (1 + \operatorname{tg} \alpha)}, \quad \frac{R_0}{R_3} = \frac{\operatorname{tg} \beta}{6 \operatorname{tg} \theta (1 + \operatorname{ctg} \alpha)},$$

$$\frac{R_2}{R_4} = \frac{R_2}{R_5} = 2, \quad \ell_3 = \delta_1 \frac{z_3 \cdot \ell}{\cos \alpha}, \quad \ell_4 = \delta_1 \frac{z_4 \cdot \ell}{\cos \alpha},$$

где γ_i, δ_1, k — масштабные коэффициенты токов, напряжений и проводимостей.

Следовательно, на четырех полюсах устройства отрабатываются напряжения, эквивалентные горизонтальным и вертикальным перемещениям концов стержня, работающего на продольное усилие, и токи, аналогичные горизонтальным и вертикальным проекциям усилия в стержне с учетом работы материала стержня на пяти участках. Переход с одного участка на другой происходит плавно, без электромеханических переключений.

При электро моделировании конструкции, содержащей стержни, работающие на продольные усилия (фермы, комбинированные системы), модели стержней соединяются между собой по геометрической схеме конструкции с целью реализации уравнений равновесия в узлах (суммы проекций на горизонтальную и вертикальную оси). На каждый узел конструкции при любом числе стержней, сходящихся в узле, необходимо только четыре усилителя (два блока умножения и два инвертора напряжения). Кроме того, на каждый стержень необходимо еще по одному усилителю и одному сумматору напряжений. Внешняя нагрузка, прикладываемая в узлах конструкции, моделируется источниками тока, включаемыми в узлы модели.

Таким образом, устройство позволяет решить очень сложную нелинейную задачу строительной механики, которая обычными методами, особенно для многократно статически неопределенных систем, не может быть решена.

Формула изобретения

Устройство для моделирования стержня, содержащее R-сетку, инверторы, усилитель и источники опорного напряжения, отличающееся тем, что, с целью расширения функциональных возможностей за счет учета нелинейных характеристик материала стержня, в него введены сумматор, блоки умножения, выпрямительные элементы и дополнительные резисторы, причем первая узловая точка R-сетки через соответствующий резистор и через цепочку из последовательно соединенных первого блока умножения и первого инвертора соединена со входом первого выпрямительного элемента, вторая узловая точка R-сетки через соответствующий резистор и через цепочку из последовательно соединенных второго блока умножения и второго инвертора подключена ко входу второго вы-

прямительного элемента, третья узловая точка R-сетки через соответствующий резистор и через цепочки из последовательно соединенных третьего блока умножения и третьего инвертора соединена со входом первого выпрямительного элемента, четвертая узловая точка R-сетки через соответствующий резистор и через цепочки из последовательно соединенных четвертого блока умножения и четвертого инвертора подключена ко входу второго выпрямительного элемента, пятая узловая точка R-сетки через соответствующие резисторы соединена с первой и третьей узловой точками и непосредственно подключена к выходу сумматора, первый вход которого соединен с шестой узловой точкой R-сетки, через соответствующие резисторы подключенной ко второй и четвертой узловым точкам R-сетки и непосредственно соединенной с выходом усилителя, вход которого подключен к входам первого и второго выпрямительных элементов, седьмая узловая точка R-сетки через соответствующие резисторы соединена с первой, второй, третьей и четвертой узловыми точками, со

вторым входом сумматора и через третий и четвертый выпрямительные элементы — соответственно с первым и вторым источниками опорного напряжения, выходы первого и третьего блоков умножения подключены ко входу второго выпрямительного элемента, выходы второго и четвертого блоков умножения соединены со входом первого выпрямительного элемента и через резисторы с седьмой узловой точкой, третий и четвертый источники опорного напряжения подключены ко входам первого и третьего выпрямительных элементов.

15

Источники информации, принятые во внимание при экспертизе

20

1. "25 научно-техническая конференция". Материалы секции строительной механики. Минск, БПИ, 1969, с. 107.

20

2. Авторское свидетельство СССР № 438022, кл. G 06 G 7/46, 1972 (прототип).

25

Примечание: В ограничительную часть формулы включены признаки, общие с прототипом, в отличительную часть — новая совокупность существенных признаков.

