



Государственный комитет
СССР
по делам изобретений
и открытий

О П И С А Н И Е ИЗОБРЕТЕНИЯ

К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

(11) 746600

(61) Дополнительное к авт. свид-ву —

(22) Заявлено 25.08.77 (21) 2519462/18-24

с присоединением заявки № —

(23) Приоритет —

Опубликовано 07.07.80. Бюллетень № 25

Дата опубликования описания 08.07.80

(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 аналоговой вычислительной технике, предназначено для расчета ферм, материал которых является нелинейным.

Известны устройства для расчета стержневых систем, содержащие резисторную сетку и функциональные преобразователи [1].

Недостатками известных устройств являются узость функциональных возможностей, необходимость ручного многошкального уравновешивания.

Наиболее близки по технической сущности к рассматриваемому являются устройства, содержащие резисторную сетку, первая, вторая, третья и четвертая узловые точки которой соединены соответственно с первой, второй, третьей и четвертой цепочками из последовательно соединенных блока умножения на постоянный коэффициент, инвертора и резистора, каждая из которых подключена к одноименной узловой точке, первая узловая точка резисторной сетки через соответ-

2

ствующие резисторы соединена со второй и четвертой узловыми точками резисторной сетки, третья узловая точка резисторной сетки через соответствующие резисторы соединена со второй и четвертой узловой точкой резисторной сетки, выходы блоков умножения первой и третьей цепочек соединены соответственно с третьей и первой узловыми точками, выходы блоков умножения второй и четвертой цепочек подключены соответственно к четвертой и ко второй узловым точкам, и источники напряжения [2].

Недостатком известного устройства является узость функциональных возможностей, оно может моделировать стержни только из линейного материала.

Цель изобретения — расширение функциональных возможностей устройства.

Поставленная цель достигается тем, что в устройство введены выпрямительные диоды, дополнительные резисторы и дополнительный блок умножения, вход которого соединен с пятой узловой точкой

резисторной сетки, соответственно через выпрямительные диоды связанной с источниками напряжения и через соответствующие дополнительные резисторы — с первой, второй, третьей и четвертой узловыми точками резисторной сетки, пятая узловая точка которой через соответствующие дополнительные резисторы подключена к выходам блоков умножения второй и четвертой цепочек, выход дополнительного блока умножения подключен к шестой узловой точке резисторной сетки, через соответствующие дополнительные резисторы соединенной с первой и третьей узловыми точками.

На фиг. 1 показан график нелинейной зависимости между напряжением и относительным удлинением стержня из нелинейного материала; на фиг. 2 представлено устройство для моделирования стержня фермы из нелинейного материала.

Устройство содержит резисторную сетку с узловыми точками 1-6, резисторы 7-18, проводимости которых равны соответственно $g_1, g_2, \frac{G}{2}, \frac{G}{2}, g_4, g_2, g_5, \frac{G}{2}, \frac{G}{2}, g_6, G, G$, дополнительные резисторы 19-26, проводимости которых равны соответственно $g, g, g_0, g_0, g, g, g_0$, блоки умножения на постоянный коэффициент 27-30, для которых отношение сопротивлений обратной связи и входного $\frac{R_0}{R_1} = 2$, инверторы напряжения 31-34, для которых отношение сопротивлений обратной связи и входного $\frac{R_0}{R_1} = 1$, дополнительный блок умножения 35 с отношением сопротивлений обратной связи и входного $\frac{R_0}{R_1} = 2$, выпрямительные диоды 36, 37, источники опорного напряжения 38 и 39, равные E и E_1 .

Реальные материалы, используемые при изготовлении ферм, имеют нелинейную зависимость между напряжением ϵ и относительным удлинением (фиг. 1). Расчет ферм из нелинейного материала сложен и для статически неопределимых ферм трудно разрешим. Задача в такой постановке может быть решена только с помощью предлагаемого устройства. Если материал фермы работает на участках I или II диаграммы,

$$G_I = \text{tg} \psi \cdot \epsilon + \text{tg} \theta \cdot E, N_I = F \cdot G_I \quad (1)$$

$$G_{II} = \text{tg} \psi \cdot \epsilon + \text{tg} \theta \cdot E_1, N_{II} = F \cdot G_{II} \quad (2)$$

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

Относительное удлинение стержня ϵ равно для стержня l, k длиной l :

$$\epsilon = (x_i - x_k) \frac{\cos \alpha}{l} + (y_i - y_k) \frac{\sin \alpha}{l}, \quad (3)$$

где α — угол наклона стержня фермы к горизонтальной линии;

x_i и x_k, y_i и y_k — соответственно горизонтальные и вертикальные перемещения концов стержня l и k

Подставив (3) в (1, 2), получаем усилие в стержне.

Проекция усилия в стержне на горизонтальную и вертикальную оси тогда будут определяться следующим образом.

Если стержень работает на участке I,

$$N_I \cos \alpha = \text{tg} \psi \cdot F \cdot \epsilon \cos \alpha + \text{tg} \theta \cdot F \cdot E \cos \alpha, \\ -N_I \cos \alpha = -\text{tg} \psi \cdot F \cdot \epsilon \cos \alpha - \text{tg} \theta \cdot F \cdot E \cos \alpha,$$

$$N_I \sin \alpha = \text{tg} \psi \cdot F \cdot \epsilon \sin \alpha + \text{tg} \theta \cdot F \cdot E \sin \alpha, \\ -N_I \sin \alpha = -\text{tg} \psi \cdot F \cdot \epsilon \sin \alpha - \text{tg} \theta \cdot F \cdot E \sin \alpha, \quad (4)$$

Если стержень работает на участке II (фиг. 1),

$$N_{II} \cos \alpha = \text{tg} \psi \cdot F \cdot \epsilon \cos \alpha + \text{tg} \theta \cdot F \cdot Z_1 \cos \alpha, \\ -N_{II} \cos \alpha = -\text{tg} \psi \cdot F \cdot \epsilon \cos \alpha - \text{tg} \theta \cdot F \cdot Z_1 \cos \alpha,$$

$$N_{II} \sin \alpha = \text{tg} \psi \cdot F \cdot \epsilon \sin \alpha + \text{tg} \theta \cdot F \cdot Z_1 \sin \alpha, \\ -N_{II} \sin \alpha = -\text{tg} \psi \cdot F \cdot \epsilon \sin \alpha - \text{tg} \theta \cdot F \cdot Z_1 \sin \alpha. \quad (5)$$

где ϵ берется по формуле (3).

Если стержень работает на участке III, уравнения проекций усилий на горизонтальную и вертикальную оси аналогичны (5), в формулах вместо Z_1 оказывается Z_2 , и знаки у всех уравнений изменены. Определить заранее, на каком из участков диаграммы (I, II или III) работает стержень, нельзя. Это можно сделать только с помощью предлагаемого устройства.

Напряжение U_A в узловой точке 5 устройства (фиг. 2) с учетом того, что для блоков умножения 28 и 30 $\frac{R_0}{R_1} = 2$,

$$U_A = (U_1 - U_2) \frac{g}{3(g + g_0)} + (U_3 - U_4) \frac{g_0}{3(g + g_0)}. \quad (6)$$

Если потенциал узловой точки 5 станет равным e ,

$$U_A = e. \quad (7)$$

Пусть

$$g_3 = 2g + G + \frac{G}{2}, \quad g_5 = 2g_0 + G + \frac{G}{2}, \\ g_4 = g + G + \frac{G}{2}, \quad g_6 = g_0 + G + \frac{G}{2}.$$

(8)

Тогда схема характеризуется следующими уравнениями электрического тока.

если потенциал узловой точки 5 не достиг ϵ и определяется по (6):

$$\begin{aligned} I_{1I} &= g_1(U_1 - U_2) + G(U_3 - U_4) + U_A g, \\ I_{2I} &= -g_1(U_1 - U_2) - G(U_3 - U_4) - U_A g, \\ I_{3I} &= G(U_1 - U_2) + g_2(U_3 - U_4) + U_A g_0, \\ I_{4I} &= -G(U_1 - U_2) - g_2(U_3 - U_4) - U_A g_0. \end{aligned} \quad (9)$$

где U_A берется из выражения (6).

Если потенциал U_A узловой точки 5 становится равным величине ϵ источника опорного напряжения 38,

$$\begin{aligned} I_{1I} &= g_1(U_1 - U_2) + G(U_3 - U_4) + \epsilon g, \\ I_{2I} &= -g_1(U_1 - U_2) - G(U_3 - U_4) - \epsilon g, \\ I_{3I} &= G(U_1 - U_2) + g_2(U_3 - U_4) + \epsilon g_0, \\ I_{4I} &= -G(U_1 - U_2) - g_2(U_3 - U_4) - \epsilon g_0. \end{aligned} \quad (10)$$

Если потенциал узловой точки 5 становится равным ϵ_1 источника опорного напряжения 39, схема определяется уравнениями, аналогичными (10), но с противоположными знаками.

Из сравнения выражений (4) и (9), (5) и (10), видно, что они аналогичны, если

$$\begin{aligned} I_{1j} &= j_i N_j \cos \alpha, \quad j = I, II, III. \quad I_{2j} = \gamma_i (-N_j \cos \alpha), \\ I_{3j} &= \gamma_i N_j \sin \alpha, \quad I_{4j} = \gamma_i (-N_j \sin \alpha), \\ U_1 &= \gamma_u \cdot X_i, \quad U_2 = \gamma_u \cdot X_k, \\ U_3 &= \gamma_u \cdot Y_i, \quad U_4 = \gamma_u \cdot Y_k. \\ g_1 &= K \frac{\text{tg} \psi \cdot F}{\epsilon} \cos^2 \alpha, \quad g_2 = K \frac{\text{tg} \psi \cdot F}{\epsilon} \sin^2 \alpha, \\ G &= K \frac{\text{tg} \psi \cdot F}{\epsilon} \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha, \\ g &= 3(\cos^2 \alpha + \sin \alpha \cos \alpha) \text{tg} \theta \frac{F}{\epsilon} K, \\ g_0 &= g \text{tg} \alpha = 3(\sin \alpha \cdot \cos \alpha) \text{tg} \theta \frac{F}{\epsilon} K, \\ \rho &= \frac{\gamma_u Z_i \rho}{3(\cos \alpha + \sin \alpha)}; \quad \rho_j = \frac{\gamma_u Z_i \rho}{3(\cos \alpha + \sin \alpha)}. \end{aligned} \quad (11)$$

где γ_i, γ_u, K - масштабные коэффициенты токов, напряжений и проводимостей.

Проводимости $g_3 - g_6$ подсчитываются по формуле (8).

Таким образом, на четырех полусах устройства обрабатываются напряжения, эквивалентные горизонтальным и вертикальным перемещениям концов стержня фермы, и токи, аналогичные горизонтальным и вертикальным проекциям усилия в стержне с учетом работы материала стержня на трех участках. Переход с одного участка на другой происходит плавно, без электромеханических переключений.

При электро моделировании фермы модели стержней соединяют по геометрической схеме фермы с целью реализации уравнений равновесия в узлах (сум-

мы проекций на горизонтальную и вертикальную оси). На каждый узел фермы при любом числе стержней, сходящихся в узле, необходимо только четыре усилителя (два удвоителя и два инвертора напряжения). Кроме того, на каждый стержень фермы необходимо еще по одному усилителю. Внешняя нагрузка, прикладываемая в узлах фермы, 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 неопределимых систем, решить нельзя.

Ф о р м у л а и з о б р е т е н и я

Устройство для моделирования стержня, содержащее резисторную сетку, первая, вторая, третья и четвертая узловые точки которой соединены соответственно с первой, второй, третьей и четвертой цепочками из последовательно соединенных блока умножения на постоянный коэффициент, инвертора и резистора, каждая из которых подключена к одноименной узловой точке, первая узловая точка резисторной сетки через соответствующие резисторы соединена со второй и четвертой узловыми точками резисторной сетки, третья узловая точка резисторной сетки через соответствующие резисторы соединена со второй и четвертой узловыми точками резисторной сетки, выходы блоков умножения первой и третьей цепочек соединены соответственно с третьей и первой узловыми точками, выходы блоков умножения второй и четвертой цепочек подключены соответственно к четвертой и ко второй узловым точкам, и источники напряжения, отличающиеся тем, что, с целью расширения функциональных возможностей устройства за счет учета нелинейных характеристик материалов стержней, в него введены выпрямительные диоды, дополнительные резисторы и дополнительный блок умножения, вход которого соединен с пятой узловой точкой резисторной сетки, соответственно через выпрямительные диоды связанной с источниками напряжения и через соответствующие дополнительные резисторы - с первой, второй, третьей и четвертой узловыми точками резисторной сетки, пятая узловая точка которой через соответствующие дополни-

тельные резисторы подключена к выходам блоков умножения второй и четвертой цепочек, выход дополнительного блока умножения подключен к шестой узловой точке резисторной сетки, через соответствующие дополнительные резисторы соединенной с первой и третьей узловыми точками.

Источники информации, принятые во внимание при экспертизе

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

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

