

Следовательно, из (16) получаем

$$I_z(\zeta) \hat{K}(0) = C \cos \kappa \zeta - \frac{i}{2} V_0^e \sin \kappa |\zeta|, |\zeta| < 1.$$

Постоянную C можно вычислить, если положить $\zeta = 1$. Тогда $I_z(1) = = h j_z(h) = 0$ и, таким образом,

$$C = \frac{i}{2} V_0^e \frac{\sin \kappa}{\cos \kappa},$$

значит,

$$I_z(\zeta) = \frac{i}{2} V_0^e \frac{\sin \kappa (1 - |\zeta|) D(0)}{\cos \kappa N(0)}, |\zeta| < 1,$$

является аналитическим решением интегрального уравнения (16).

Итак, рассмотрен подход к изучению тока в изолированной антенне конечной длины, позволяющий получить интегральное уравнение с разностным ядром, которое имеет слабую особенность. Проведено аналитическое и численное исследование ядра и получено аналитическое выражение для тока в антенне.

Поступила в редколлегию 12.07.87

УДК 621.385

А. А. КОНТАРЬ, П. В. НЕШМОНИН

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУР, СОДЕРЖАЩИХ ДИСПЕРСНУЮ ФАЗУ

Композиционные материалы (КМ) находят большое применение в современной технике благодаря многообразию свойств, широкому интервалу рабочих температур при различных механических воздействиях [1]. Определенный практический интерес представляет группа электропроводящих КМ. Изменяя соотношение между связующим — матрицей и электропроводящим наполнителем, а также используя различные наполнители [2], удается изменять проводимость КМ в широком диапазоне. Накопленный объемный эмпирический материал по электропроводящим КМ лишен, с нашей точки зрения, одной очень важной информации — зависимости проводимости от числа и формы возникающих электропроводящих цепочек, образованных частицами наполнителя между стенками образца. Моделирование образования прозодящих цепочек в среде диэлектрика описано в работе [3], однако, кроме факта, подтверждающего формирование направленной структуры из разрозненных частиц в электрическом поле, такое моделирование не решает проблемы образования электропроводящих структур, потому что можно создать только одну цепочку между электродами, идущую от одного электрода к другому. В реальных условиях формирование электропроводящих цепочек идет в матрице в отсутствие электрического поля во всем объеме под действием сил седиментации электростатического притяжения и отталкивания, тепловых потоков, а также других факторов, связанных с поверхностными эффектами на границе раздела между наполнителем и матрицей.

С целью преодоления некоторых особенностей натурального моделирования предложено провести такое моделирование структур КМ на микроЭВМ «Электроника ДЗ-28» с алфавитно-цифровым дисплеем и знаковосинтезирующим устройством печати. Необходимо отметить, что решение этой и подобных задач на ЭВМ, не имеющей в своем составе графического дисплея или графопостроителя, трудно проконтролировать визуально. Использование алфавитно-цифрового дисплея позволяет решить поставленную задачу только при введении ряда ограничений на размеры образца и распределяемых частиц. В состав математического обеспечения такого комплекса обычно входит диалоговый язык программирования высокого уровня БЕЙСИК-3А. Однако интерпретатор языка БЕЙСИК-3А не имеет средств работы с экраном дисплея, что крайне затрудняет отображение на экране динамически изменяющихся картин и приводит к невозможности решения задач моделирования.

Для преодоления этого ограничения разработан пакет программ управления экраном дисплея, написанный в машинных командах микроЭВМ «Электроника ДЗ-28». Каждая программа пакета оформлена как внешняя программа интерпретатора, расширяющая его возможности функциями управления алфавитно-цифровым дисплеем.

Базовый вариант пакета программ, используемый нами для решения задачи моделирования, включает восемь программ. Пакет подпрограмм выполняет следующие функции управления дисплеем: 1) позволяет помещать курсор в любую программно-заданную точку на экране; 2) осуществляет стирание страницы экрана (очистка памяти дисплея, соответствующей одному экрану); 3) реализует очистку всей памяти дисплея; 4) производит смену страниц экрана дисплея; 5) выполняет звуковой сигнал программно-заданной длительности; 6) перемещает изображение экрана на программно заданное число строк вниз; 7) перемещает изображение экрана на программно-заданное число строк вверх; 8) реализует паузу определенной, программно-заданной длительности.

Параметры этих подпрограмм могут быть заданы константами, или простыми переменными. Например: 20 LET J=5; 30 CALL 1, J, 23, где 1 — номер подпрограммы; J — заданный простой переменной номер строки, в которую нужно поместить курсор; 23 — заданная константой позиция J-й строки, в которую будет помещен курсор. При выполнении этих операторов курсор на экране дисплея установится в 23-ю позицию 5-й строки.

Эти подпрограммы широко используются в диалоговой программе, созданной на языке БЕЙСИК для моделирования КМ, содержащего электропроводящий компонент. Для конкретизации поставленной задачи введены некоторые ограничения, в том числе выбрано двумерное пространство с размерами 20×40 , в котором при максимальном заполнении можно разместить 800 частиц и рационально использовать экран дисплея. В исходном состоянии ограниченное пространство не содержит размещенных частиц. Разработанная программа на ограниченном поле экрана позволяет

размещать частицы по случайному равномерному закону распределения. В том случае, если следующая частица случайно попадает на занятое место, то программа обеспечивает автоматический поиск свободного места рядом. Если не удастся в ближайшем окружении найти свободное место, то частица считается неразмещенной и учитывается отдельно. Таким образом последовательно заполняется все поле.

На первой стадии моделирования размещалось 350—380 частиц в указанном ограниченном пространстве. При постоянном визуальном контроле дискретно добавлялось по несколько размещаемых частиц и определялось возникновение контактов между размещенными частицами в цепочках, образующихся между широкими сторонами прямоугольника. Первая стадия моделирования заканчивалась после возникновения первой такой непрерывной цепочки, что принималось нами за появление проводимости между широкими стенками. Затем изображение с экрана дисплея с картиной моделирования структуры фиксировалось в памяти ЭВМ и выводилось на печать. Вместе с моделью в распечатке фиксировалось общее число введенных частиц, утраченных из-за отсутствия свободного места, т. е. попавших во второй слой и не учитываемых плоской моделью.

Всего было проведено несколько десятков моделирований, в которых количество размещенных частиц изменялось от 370 до 480, а число частиц в цепочке изменялось от 24 до 53, причем не удалось обнаружить никакой зависимости между количеством размещенных частиц и частиц в цепочке, соединяющей широкие стенки. Одновременно установлено, что после размещения 370—380 частиц, составляющих 46—47 % от общего количества частиц, возможно появление первой проводящей цепочки. После размещения 51—55 % от общего количества частиц можно гарантировать возникновение одной электропроводящей цепочки, а более 55 % — электропроводимости в КМ, содержащем металлические наполнители, сажу или графит.

Необходимо отметить, что проводимость КМ, содержащих один и тот же наполнитель с одинаковым гранулометрическим составом, изменяется в широких пределах и подчиняется случайному закону распределения, связанному с произвольным расположением частиц даже в двумерном пространстве.

При дальнейшем увеличении количества расположенных частиц от 540 до 700, что составляет 67,5—87,8 % от общего числа, наблюдается появление цепочки, состоящей из 20 частиц, соединяющей по прямой широкие стенки прямоугольника. В результате такого эффекта можно ожидать, что, начиная с 67,5 % размещенных частиц, удельное сопротивление должно резко уменьшиться. Стабильное образование как минимум одной прямой цепочки и нескольких изогнутых отмечается после 74 % размещенных частиц. Количество размещенных частиц, как и в первой стадии, контролировалось визуально, а окончание моделирования сопровождалось аналогичной распечаткой.

Результаты, полученные после проведения нескольких десятков полных циклов моделирования, позволили сделать следующие выводы: проводимость в моделируемой структуре практически отсутствует, если количество размещенных частиц не превышает 48 % от теоретически возможного; во всех случаях моделирования проводящие цепочки различной длины и произвольной формы возникают при размещении от 48 до 60 % частиц и гарантированно, начиная с 51 %; прямой контакт между широкими сторонами прямоугольника появляется после размещения 67 % и гарантированно после 74 % от общего количества частиц.

Список литературы: 1. *Композиционные материалы*: Справ. К., 1985. 591 с. 2. *Металлополимерные материалы и изделия*. М., 1979. 309 с. 3. *Электропроводящие полимерные материалы* / В. Е. Гуль, Л. Н. Царский, С. Н. Майзель и др. М., 1968. 248 с.

Поступила в редколлегию 07.07.87

УДК 621.317

М. А. ПРИСЕНКО, К. Л. ШЕВЧЕНКО, А. А. ПОТАПОВ

ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СВЧ КООКСИАЛЬНОГО ДАТЧИКА С ПЛОСКИМИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ МАТЕРИАЛАМИ

При контроле влажности листовых и рулонных материалов во многих случаях используются коаксиальные резонаторы с торцевым зазором. Благодаря высокой напряженности электромагнитного поля в области взаимодействия с исследуемым материалом коаксиальные датчики позволяют измерять малые значения влажности тонких материалов, что труднодостижимо при использовании других типов датчиков.

Известно [1], что влажность материала с достаточной точностью может быть однозначно описана диэлектрическими параметрами материала, в частности диэлектрической проницаемостью. Представляет интерес зависимость между диэлектрической проницаемостью материала, частично заполняющего резонансный преобразователь (рис. 1), и выходными параметрами резонансного датчика — его резонансной частотой. При этом желательно иметь не относительную зависимость резонансной частоты от диэлектрической проницаемости, предполагающую хотя бы одну известную точку на градуировочной кривой, полученную по эталонному образцу, а абсолютную зависимость, создающую возможность вычисления значения резонансной частоты, без использования эталона. В работах [2; 3] решались подобные задачи, однако при использовании их результатов необходима предварительная подготовка образца, который должен иметь форму усеченного конуса [2] либо цилиндра с диаметром, совпадающим с диаметром центрального проводника резонатора [3], что не всегда удобно.

Найдем выражение, связывающее длину волны в резонаторе с диэлектрической проницаемостью материала для случая (рис. 1), когда контролируется влажность листовых и рулонных материалов,