

и явления игнорируются). Действительно, если интегралы, следующие из приближенных уравнений, противоречат точным, то очевидно, что приближенная модель ошибочна.

3. Законы сохранения могут быть использованы и непосредственно для понижения порядка системы нелинейных уравнений, описывающих процесс взаимодействия электронов с электромагнитными полями.

Наиболее важными являются интегралы движения, не содержащие полевых составляющих. Эти интегралы связывают не только параметры движения электрона, но и позволяют получить достаточно глубокие и определенные выводы о характере этого движения.

Список литературы

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория поля. М.: Наука, 1967. 422 с.
2. Морозов А.И., Соловьев Л.С. Движение заряженных частиц в электромагнитных полях // Вопросы теории плазмы. 1963. Вып. 2. С. 177–241.

МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ ПОТОКОВ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ ПОЛЯМИ

И.В. Баженова

В теории оптимального управления широкое распространение получили вариационные методы решения возникающих в этой области задач, основанные на необходимых условиях стационарности функционала, выражающего цель конкретной задачи оптимального управления (целевой функции) [1, 2]. Если математическая модель динамического процесса задается в форме дифференциальных уравнений состояния, то необходимые условия стационарности формулируются в виде краевой (двухточечной) задачи для переменных состояний и множителей Лагранжа (сопряженных переменных). Эта задача имеет аналитическое решение лишь в исключительных случаях; в общем случае приходится использовать те или иные численные методы решения краевой задачи. Однако, эти методы могут привести к неустойчивым решениям, и необходимы специальные приемы (например, использование метода направленной ортогонализации), чтобы обеспечить сходимость решения. При высоком порядке уравнений состояния возможность численного решения задачи становится весьма проблематичной. Математические модели процессов взаимодействия электронных потоков с электромагнитными полями отличаются именно тем, что порядок уравнений состояния, описывающих поведение «крупных частиц», моделирующих электронный поток, весьма высок.

Таким образом, использование необходимых условий в задачах электроники СВЧ практически исключается и следует остановиться на прямых методах решения, т. е. на непосредственной минимизации (или максимизации) целевой функции, определенной на решениях уравнений состояния. На этом пути не следует пренебрегать некоторыми общими следствиями теории вариационного исчисления, которые, в частности, позволяют определять составляющие градиента целевой функции аналитически, не прибегая к шаговым численным методам. В сущности, необходимые условия в случае многопараметрической оптимизации сводятся к тому, что градиент целевой функции в экстремальной точке должен быть равен нулю. Построение первой вариации функционала и введение некоторых дополнительных условий позволяют получить формулу для градиента целевой функции и в любой текущей точке в пространстве параметров.

Список литературы

1. Болтянский В.Г. Математические методы оптимального управления. М.: Наука, 1969. 408 с.
2. Моисеев Н.Н. Численные методы в теории оптимальных систем. М.: Наука, 1971. 424 с.