

3. Аналогичную процедуру повторяют для выходного сигнала $Y(t)$ (измерения на входе и на выходе должны быть выполнены одновременно).
4. По формулам (5) вычисляют $A(\omega)$ и $\varphi(\omega)$.
5. Строят кривую АФЧХ исследуемого объекта.
6. Выделяют точки резонанса.

Управляющая программа разработана на языке Ассемблер и отлажена на ЭВМ «Электроника 60».

ЛИТЕРАТУРА

1. Типовые методики и программы испытаний металлорежущих станков.—М.: НИИМАШ, 1984.—108 с.
2. Воронин А. А. Основы теории автоматического управления.—М.: Энергиздат, 1981.—304 с.
3. Центральный процессор М 2. Техническое описание и инструкция по эксплуатации.—М.: НИИ «Электроника», 1979.—160 с.
4. Электронная вычислительная машина «Электроника 60» 15ВМ 16 Перфоленточная операционная система, программа обеспечения 0.005.027 ПО.—М.: НИИ «Электроника», 1980.—265 с.

НПО «Армстанок»

20. II. 1986

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XLII, № 1, 1989, 44—46.

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 621.30

Э. Н. МАНУКЯН

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ МЕТОДОМ МАКСИМАЛЬНО-ФИЗИЧЕСКОГО ПРАВДОПОДОБИЯ

При диагностике и анализе состояния непрерывных объектов электрической природы возникает необходимость определения значений недоступных для измерений параметров внутренних элементов по результатам измерений потенциалов и токов доступных узлов и ветвей электрической схемы и по априорной информации о возможных значениях параметров. Наличие случайных ошибок измерений, паразитных параметров реальной схемы на практике позволяет поставить вопрос лишь о получении вероятностных оценок некоторых параметров. Однако, традиционные методы теории оценки не позволяют учесть физическую природу исследуемого объекта, получать точные оценки параметров. Ниже предлагается метод, ориентированный для оценивания параметров объектов электрической природы, основанный на принципе максимально-физического правдоподобия (МФП) [1]. Пусть в электрической схеме замещения исследуемого объекта каждая i -ая ветвь состоит из последовательного включенного резистора с сопротивлением R_i и источника напряжения E_i с. Введем рассмотрение: E —вектор, составленный из элементов E_i ; R —диагональная матрица, составленная

из элементов Rl ; C — матрица инцидентности анализируемой схемы, U^i и I — векторы, элементами которых являются потенциалы и токи узлов и ветвей анализируемой схемы.

Согласно МФП наиболее близкими к истинным следует считать значения искомых параметров, при которых в стохастической модели исследуемого объекта с наибольшей вероятностью обеспечиваются наиболее количественные соотношения законов физики, описывающие реальные процессы, протекающие в объекте. При реализации МФП, как это показано в [1], точность полученных оценок зависит от формы записи математических описаний объекта. При всем разнообразии имеющихся законов физики в них отмечаются общие черты — все они являются отображениями, преобразованными формами перезаписи немногочисленных фундаментальных принципов физики, таких как принципы сохранения минимума, симметрии и т. д. [2]. Поэтому математические модели исследуемых объектов можно составить, опираясь непосредственно на эти законы.

Согласно принципу минимума, реальное распределение токов по ветвям электрической цепи обеспечивает минимум выделяемой тепловой энергии на рассеянных элементах цепи, т. е. имеет место

$$\min_I (I^T R I), \quad (1)$$

в то же время согласно принципу сохранения имеем

$$I^T R I = E^T I \text{ и } C I = 0. \quad (2)$$

Таким образом, токи в ветвях схемы можно представить как решение задачи (1) при ограничениях (2). Пользуясь методом неопределенных множителей Лагранжа, составим функцию Лагранжа [3]: $\Phi(U, I) = I^T R I + \lambda_1 (I^T R I - E^T I) + \lambda_2^T C I$, где λ_1 — i -ый множитель Лагранжа; λ_2 — вектор-столбец множителей Лагранжа. Токи I являются координатами седловой точки функции $\Phi(I, \lambda)$, т. е. решением системы уравнений

$$\frac{\partial \Phi}{\partial I} = 2RI + \lambda_1 (2RI - E) + C^T \lambda_2 = 0, \quad (3)$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \lambda_1} = I^T R I - E^T I = 0, \quad (4)$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \lambda_2} = C I = 0. \quad (5)$$

Слева перемножим (3) на I^T и преобразуем к виду

$$2I^T R I + \lambda_1 (I^T R I - E^T I) + (C I)^T \lambda_2 + \lambda_1 I^T R I = 0.$$

Подставив в последнее выражение (4) и (5), а также учитывая, что $I^T R I \neq 0$, получим $\lambda_1 = -2$. Тогда функцию $\Phi(I, \lambda)$ можно представить в виде $\Phi(U, I) = -I^T R I + 2E^T I + \lambda_2^T C I$. Если в (3) подставить $\lambda_1 = 2U$ и уже найденное значение $\lambda_1 = -2$, то (3) будет совпадать с уравнениями, полученными по второму закону Кирхгофа для ветвей ана-

лизируемой цепи. Таким образом, реальные токи и потенциалы электрической цепи можно определить как координаты седловой точки функции

$$\Phi(U, I) = -I^T R I + 2E^T I + 2U^T C I, \quad (6)$$

т. е. как результат решения минимаксной задачи: $\max(\min \Phi(U, I))$.

Значение функции $\Phi(U, I)$ определяет энергетическое состояние исследуемой цепи, поэтому при некоторых оценках переменных $\bar{U}$, $\bar{I}$ в качестве меры близости к реальному энергетическому состоянию можно использовать функционал $\Delta\Phi = \Phi - \Phi_0$, где Φ и Φ_0 — значения функции $\Phi(U, I)$ при значениях $\bar{U}$, $\bar{I}$ в седловой точке. Определим выражение для $\Delta\Phi$. Представим (6) в виде

$$\Phi(U, I) = \Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3,$$

где

$$\Phi_1 = (-I^T R + E^T + U^T C) I = I^T (-R I + E + C^T U),$$

$$\Phi_2 = U^T (C I), \quad \Phi_3 = E^T I.$$

В седловой точке, как это видно из (4) и (5), имеем $\Phi_1 = 0$, $\Phi_2 = 0$, $\Phi(U, I) = \Phi_0$, т. е. для произвольных значений U и I : $\Delta\Phi = \Phi_1 + \Phi_2 + \Delta\Phi_3$. В окрестностях седловой точки функцию $\Delta\Phi$ заменим первым приближением функции $\Delta\Phi' = \Phi_1 + \Phi_2$, учитывая, что в самой седловой точке $\Delta\Phi' = \Delta\Phi = 0$. Таким образом, применительно к процессам, протекающим в электрических цепях, условия соблюдения фундаментальных законов физики можно представить в виде системы равенств $\Delta\Phi' = 0$, а также (4) и (5). Из равенств (4) и (5) и $\Delta\Phi' = 0$ можно получить: $Z_1 = I_1^T (-R I - E - C^T U) = 0$, $Z_2 = U_2^T C I = 0$, где I_1 и U_2 — диагональные матрицы, диагональными элементами которых являются элементы векторов I и U соответственно. Некоторые элементы векторов R и I являются результатами измерений, поэтому Z_1 и Z_2 являются случайными величинами. Тогда согласно принципу максимального-физического правдоподобия наилучшими оценками следует считать те значения недоступных параметров, входящие в R и E , при которых обеспечивается абсолютный максимум функции физического правдоподобия $P(Z_1 = 0, Z_2 = 0)$.

В заключение отметим, что при данной методике обеспечивается максимальная вероятность соблюдения фундаментальных законов физики в стохастической модели анализируемой цепи и при этом не возникает вопрос неопределенности формы записи уравнений исследуемой схемы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Микучян Э. Н. Основы метода максимального-физического правдоподобия // Изв. АН АрмССР. Сер. ТН. — 1980 — Т. XXXIII, № 4. — С. 51—57.
2. Фейнман Р. П. Характер физических законов. — М.: Мир, 1968 — 232 с.
3. Волькен В. М. Теория максимума. — М.: Сов. радио, 1970. — 431 с.