
УДК 621.375.7

О.И. ПОДГАЙКО, П.И. ЧЕРЕДНИКОВ

**ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ ЗОННЫЙ МЕТОД
ПРОЕКТИРОВАНИЯ НЕЛИНЕЙНО-
ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Задача проектирования связана с двумя основными принципами: выбором технических решений и отображением результатов проектирования в виде совокупности документов, достаточной для изготовления объекта в производстве. Главным содержанием проектирования является выбор технических решений, отвечающих требованиям к функционированию нелинейно-параметрической системы (НПС), а также ряду эксплуатационных и технологических требований.

Процесс синтеза параметров НПС имеет значительную трудность. Она вызвана сложностью описания физических процессов в реальных НПС. В частности, для проектирования реальной индуктивной НПС с неидентичностью параметров элементов необходимо использовать следующую математическую модель асимметричной системы в случае гармонического напряжения накачки U_m :

$$\left\{ \begin{aligned} & \gamma_1 \left(sh \frac{x}{2} ch \frac{y}{2} - (\varepsilon + \eta - \xi) ch \frac{x}{2} sh \frac{y}{2} - \right. \\ & \left. - \frac{\delta}{2} \left(x sh \frac{x}{2} sh \frac{y}{2} + y ch \frac{x}{2} ch \frac{y}{2} \right) \right) = U'_m \sin \tau, \\ & (\xi + \rho) \gamma_2 \frac{d}{d\tau} \left(sh \frac{y}{2} ch \frac{x}{2} - (\varepsilon + \eta) sh \frac{x}{2} ch \frac{y}{2} - \right. \\ & \left. - \frac{\delta}{2} \left(y sh \frac{x}{2} sh \frac{y}{2} + x ch \frac{x}{2} ch \frac{y}{2} \right) \right) + \gamma_3 \left(ch \frac{x}{2} sh \frac{y}{2} - \right. \\ & \left. - (\xi + \eta) sh \frac{x}{2} ch \frac{y}{2} - \frac{\delta}{2} \left(y sh \frac{x}{2} sh \frac{y}{2} + x ch \frac{x}{2} ch \frac{y}{2} \right) \right) = 0, \end{aligned} \right.$$

где x, y – приведенные напряжения в контуре накачки и резонансном;

$$\gamma_1 = \frac{\alpha\beta/R_1}{SW_1^2\omega}, \gamma_2 = \frac{\alpha\beta/R_2}{SW_2^2\omega}, \gamma_3 = \frac{\alpha\beta l}{SW_2^2\omega^2 C}, U'_m = \frac{\beta U_m}{SW_1\omega} \quad \text{– коэффициенты,}$$

учитывающие конструктивные параметры системы; $\tau = \omega t$ – безразмерное время; ω – частота колебаний; $\varepsilon, \delta, \rho, \eta, \xi$ – малые величины, учитывающие неидентичность параметров сердечников и обмоток, соответственно: коэффициентов аппроксимации, сечения и длины магнитной линии, числа витков резонансных обмоток.

Математическая модель при проектировании отображает физические процессы, протекающие в НПС, с различной степенью адекватности к реальному физическому процессу в проектируемой системе. На такой модели можно осуществлять все работы, связанные с выбором метрических параметров (номиналов элементов, параметров управляющих сигналов и др.), отвечающих заданным критериям на проектирование.

Предлагаемый параметрический зонный метод проектирования НПС предполагает возможность оптимизации по одному или нескольким параметрам и использует для анализа физических процессов две модели проектируемой системы – математическую и аналоговую.

Исходными данными для проектирования НПС является техническое задание (ТЗ), содержащее требования к функционированию системы, описание входных воздействий и критерии синтеза, которым должна соответствовать проектируемая НПС. Требования к функционированию представляют собой формальное описание структуры НПС или сведения, достаточные для этого описания. Система входных воздействий – это формальное описание среды, в которой происходит функционирование и проектирование, в виде набора неварьируемых параметров, заданных числовыми значениями. В состав входных воздействий также необходимо включить сигналы накачки и управления при их жесткой регламентации в ТЗ. Критерии синтеза представляют собой набор выходных функций (показателей) и соответствующих им ограничений в виде числовых значений, которым должны удовлетворять эти показатели. Одна из таких функций может быть поставлена в ранг целевой (оптимизация по параметру) и должна достигать в процессе синтеза условного или безусловного максимума или минимума.

Таким образом, процесс проектирования может рассматриваться как совокупность двух итерационных циклов: формирования и редактирования параметров исходной НПС.

Очевидно, что подобная методология синтеза параметров трудоемка по реализации и созданию базиса проектирования при условии его инвариантности к различным заданиям исходных данных. Поэтому в данном случае целесообразно использовать мощности современных вычислительных комплексов – развитых САПР для существенного упрощения процесса проектирования.

Одним из основных принципов метода является использование “прямой” модели, имитирующей реальную НПС, и организация по ней цикла проектирования. Процесс синтеза параметров на этой модели представляет собой серию направленных экспериментов, причем за один цикл проектирования осуществляется расчет выходных показателей, проверка одного набора варьируемых параметров и сравнение с заданными критериями.

Формирование структуры НПС выполняется проектировщиком и служит основой для получения математической модели. В общем случае, математическая модель представляет собой систему нелинейных дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами, которые включают в себя конструктивные параметры проектируемой системы; учитывают внешние воздействия на нее дестабилизирующих факторов среды функционирования; параметры накачки и управления, а также внутренние факторы системы. Такая модель является имитационным аналогом проектируемой НПС. Степень адекватности ее натуральному объекту определяется постановкой задачи проектирования.

Аналоговая модель – реальная модель, имеющая функциональное сходство с проектируемой НПС и возможность вариации параметров системы, т.е. электрическое устройство в реальных условиях проектирования, для которого блок задания параметров накачки и управления формирует электрические сигналы воздействия в соответствии с ТЗ и структурой проектируемой НПС. Варьируемыми параметрами для аналоговой модели являются характеристики электрических сигналов воздействия. Изменение параметров математической и аналоговой модели выполняется синхронно.

Таким образом, алгоритм поиска требуемой функции заключается в последовательном выборе варьируемых параметров и подаче их на входы моделей.

Блок сравнения и анализа обрабатывает и обобщает выходные сигналы аналоговой модели, функции математической модели и приводит их к виду, необходимому для сравнения с критериальными значениями. В предложенном методе проектирования задача поиска решения формируется в виде: найти значения параметров, удовлетворяющих условиям:

\max или $\min S(X,G)$ при $Y_i \leq Y_{0i}$, $i = 1, 2, \dots, n$,

где $S(X,G)$ – целевая функция в области функционирования, определяемой совокупностью X – множеством варьируемых и G – множеством неварьируемых параметров; $Y(X,G)$ – совокупность выходных параметров; Y_0 – система ограничений.

Выходная функция $Y(X,G)$ системы позволяет оценивать влияние каждого из варьируемых параметров и тем самым сравнивать и выбирать лучшее проектное решение, в также формировать направление поиска. Поэтому целесообразно использовать алгоритм прямого детерминированного поиска решения градиентным методом.

Применение данного метода проектирования НПС дает более точные результаты прогнозирования качества переходных процессов и устойчивости в системе, а также проектирования вообще. Такой метод имеет ряд достоинств:

- 1) учитывает динамический характер работы системы, т.е. для оценки параметров используются: динамическая индуктивность и зонный коэффициент модуляции энергоемкого параметра;
- 2) содержит в себе обобщенный метод проектирования на широкий класс НПС и обладает гибкостью варьирования переменными параметрами и постановки задач оптимизации;
- 3) поддается автоматизации при проведении проектных работ средствами современных вычислительных комплексов и САПР;
- 4) обладает наглядностью изменения выходной функции при изменении варьируемого параметра и позволяет контролировать широкий спектр параметров проектируемой НПС;
- 5) достаточно точен, так как максимально приближен к реальному объекту проектирования.

Метод с успехом может быть использован при исследованиях влияния характера внешних воздействий на выходную функцию системы, что представляет научный и практический интерес.

Поступила в редколлегию 09.11.98

Подгайко Олег Иванович, аспирант кафедры КРЭС ХТУРЭ. Научные интересы: методы и средства проектирования и разработки нелинейно-параметрических систем. Адрес: Украина, 310204, Харьков, просп. Ленина, 14, тел. 40-93-43.

Чередников Павел Ильич, канд. техн. наук, доцент кафедры КРЭС ХТУРЭ. Научные интересы: теория и практика параметрических зонных взаимодействий. Адрес: Украина, 310170, Харьков, ул. Тимуровцев, 17а, кв. 96, тел. 40-93-43.