doi:10.18411/spub-4-2018-06

idsp: 000001: spub-4-2018-06

**КОСТЮКОВА А.П., КОСТЮКОВА Т.П.
РАЗРАБОТКА РАЗРЯДНО-ИМПУЛЬСНЫХ УСТАНОВОК НА ОСНОВЕ
СПЕЦИАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ**

*Уфимский государственный авиационный технический университет
(Россия, Уфа)*

АННОТАЦИЯ

Разрядно-импульсные установки представляют совокупность тиристорного управляемого ключа и мощного импульсного трансформатора, играющего роль связующего звена между нагрузкой и источником питания. В статье представлена математическая модель установки и концепция разработки и проектирования установок на основе генетических алгоритмов, что позволяет создавать устройства с повышенными динамическими и эксплуатационными характеристиками.

Ключевые слова: Разрядно-импульсные технологические установки, феноменологическая схема замещения, математическая модель, генетические алгоритмы.

**KOSTYUKOVA A.P., KOSTYUKOVA T.P.
DEVELOPMENT OF DIGIT AND PULSE INSTALLATIONS ON THE BASIS
OF SPECIAL METHODS OF OPTIMIZATION**

*Ufa state aviation technical university
(Russia, Ufa)*

ABSTRACT

Digit and pulse installations represent set of the thyristor operated key and the powerful pulse transformer playing a link role between loading and the power supply. The mathematical model of installation and the concept of development and design of installations on the basis of genetic algorithms is presented in article that allows to create devices with the raised dynamic and operational characteristics.

Keywords: Digit and pulse technological installations, phenomenological equivalent circuit, mathematical mode, genetic algorithms.

ВВЕДЕНИЕ

Разрядно-импульсные установки являются основой значительного числа электротехнологий высокого уровня, обеспечивающих высокое качество выпускаемой продукции, повышение динамических и энергетических характеристик всего комплекса оборудования, а также улучшающих показатели его эксплуатационной надежности.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Однако, оптимизация выходных характеристик таких установок с учетом нестационарности нагрузки, режимов работы полупроводниковых вентилей не нашла должного отражения в отечественной и зарубежной литературе. В связи с этим большой практический интерес приобретают вопросы моделирования и оптимизации таких установок.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Установка разрядно-импульсного типа может быть представлена следующей схемой феноменологической замещения (рис. 1), где согласующий трансформатор замещен Т-образной схемой замещения, а нагрузка – трехпозиционным безинерционным переключателем [1], т.е. в режиме паузы представлена последовательно включенными емкостями, соответствующими электрическим емкостям барьерного C_b и разрядного СПР промежутков. После пробоя промежутка величина тока будет определяться емкостью диэлектрических барьеров, а напряжение на разрядном промежутке остается практически постоянным.

Рисунок 1. Схема замещения

Электромагнитные процессы в системе преобразования параметров описаны следующей системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{L_s}{2} \frac{di_d}{dt} &= \frac{k_1 + k_2}{1 + k_1 k_2} \cdot (u_d - i_d \cdot R_{\text{ТР}} - u_{C_{\text{ТР}}}); \\ \frac{L_s}{2} \frac{di_H}{dt} &= u_{C_{\text{ТР}}} - k_{\text{пр}}^1 \cdot u_{\text{пр}} - k_{\text{пр}}^2 \cdot E + k_{\text{пр}}^3 \cdot E - u_b - i_H \cdot R_{\text{ТР}}; \\ L_0 \frac{di_0}{dt} &= u_{C_{\text{ТР}}} - i_0 \cdot R_{L_0}; \\ C_b \frac{du_b}{dt} &= i_H; C_{\text{ТР}} \frac{du_{C_{\text{ТР}}}}{dt} = i_d - i_H - i_0; C_{\text{пр}} \frac{du_{\text{пр}}}{dt} = i_H; \end{aligned}$$

где u_d - входное напряжение; $u_{C_{\text{ТР}}}$, u_b , $u_{\text{пр}}$ - соответственно напряжения на емкости трансформатора, на барьерном и разрядном промежутках; E - напряжение пробоя диэлектрического промежутка; i_d - входной ток; i_0 , i_H - токи намагничивающего контура и нагрузки; L_0 , L_s - индуктивности намагничивания и рассеяния трансформатора соответственно; $C_{\text{ТР}}$ - собственная емкость трансформатора; C_b - барьерная емкость; $C_{\text{пр}}$ - емкость разрядного промежутка; R_{L_0} - сопротивление, соответствующее потерям в стали трансформатора; $R_{\text{ТР}}$ - активное сопротивление обмоток трансформатора; k_1 , k_2 - коэффициенты состояний вентиля; $k_{\text{пр}}^1$, $k_{\text{пр}}^2$, $k_{\text{пр}}^3$ - коэффициенты состояния нагрузки.

Представленная модель схемы учитывает все возможные состояния при помощи изменения коэффициентов k_1 , k_2 , $k_{\text{пр}}^1$, $k_{\text{пр}}^2$, $k_{\text{пр}}^3$. Расчет начинается с ввода значений параметров схемы: амплитудного значения напряжения питания и его частоты, индуктивности рассеяния и намагничивания трансформатора, собственной емкости обмоток трансформатора, угла отпирания тиристоров α , напряжения пробоя нагрузки и емкости диэлектрического промежутка. Далее задается конечное время расчета из условия наличия установившегося процесса $t_{\text{кон}}$, и точности расчета ξ . В основу расчета электромагнитных процессов положен итерационный принцип определения основных характеристик схемы, вследствие того, что априори неизвестны моменты смены состояний вентилей и нагрузки. Система дифференциальных уравнений переменной структуры решается методом Рунге-Кутты согласно состоянию схемы на текущий момент времени.

В процессе расчета проверяются состояния вентилей и разрядного промежутка, причем контролируется не только абсолютное значение параметра, но и его знак, а также временной параметр по отношению к периоду управления силовыми элементами (табл.1).

Таблица 1

Таблица переходов

Условия переключения	Описание	Значения коэффициентов состояния				
		k_1	k_2	$k_{\text{пр}}^1$	$k_{\text{пр}}^2$	$k_{\text{пр}}^3$
$k_1=1 \vee i_{dn}<0 \vee i_{d(n-1)}>0$	выключение VS1	0	0	-	-	-
$k_2=1 \vee i_{dn0}>0 \vee i_{d(n-1)}<0$	выключение VS2	0	0	-	-	-
$ \alpha - t < \xi$	включение VS1	1	0	-	-	-
$ \pi + \alpha - t < \xi$	включение VS2	0	1	-	-	-
$ T - t < \xi$	закончен период управления	0	0	-	-	-
1) $u_{\text{пр}} > E$ 2) $u_{\text{пр}} < -E$	разрядный промежуток пробит	-	-	0 0	1 0	0 1
$ u_{\text{пр}} < E$	промежуток не активен	-	-	1	0	0

Если в процессе контроля зафиксировано наличие коммутации, запускается программа диагностики, определяющая новую структуру состояния схемы преобразователя и формирующая дальнейшую вычислительную процедуру путем изменения значений диагностирующих коэффициентов. При наличии числа критических ситуаций больше единицы, осуществляется уточнение момента времени и выделение среди нескольких одновременно возможных ситуаций одной, в первую очередь соответствующей данному моменту времени.

Центральное место при создании технических объектов любой степени сложности и назначения по своему влиянию на результаты проектирования занимают задачи, направленные на поиск оптимальных технических решений.

В ситуациях, подобных рассматриваемой задаче, трудно определить область допустимых значений, в которой результаты расчета имели бы не только смысл, но и обеспечивали наилучшие выходные показатели. В последнее время все большую популярность среди проектировщиков завоевывают генетические алгоритмы [2,3], в основе которых лежат эволюционные законы природы. Объектами, с которыми оперируют генетические алгоритмы, являются хромосомы – набор генов (управляемых параметров),

которыми являются: емкость диэлектрического промежутка нагрузки C_b ; индуктивность намагничивания трансформатора L_0 ; отношение индуктивности намагничивания к индуктивности рассеяния трансформатора L_0/L_s ; частота колебательного контура, образованного индуктивностью намагничивания и собственной емкостью обмоток трансформатора $\omega = 1/\sqrt{L_0 \cdot C_{тр}}$.

Блок-схема алгоритма расчета приведена на рис. 2. После ввода основных исходных параметров, необходимых для начала работы алгоритма, определяется критерий выживаемости для каждой хромосомы популяции, являющийся функцией цели. В качестве данного критерия нами принят аддитивный коэффициент [4], включающий в себя коэффициент использования трансформатора, определяющийся как отношение выходной ($P_{вых}$) к входной ($S_{тр}$) мощности трансформатора $k_{тр} = P_{вых}/S_{тр}$; коэффициент, обуславливающий производительность технологической установки и определяемый отношением времени пробоя диэлектрического промежутка ($t_{проб}$) к периоду питающего напряжения (T) $k_H = t_{проб}/T$; коэффициент устойчивости протекания переходного процесса, следящий за изменением кривой напряжений на нагрузке от периода к периоду – чем меньше изменение, тем выше значение коэффициента

$$k_y = \frac{\sum_{i=1}^N k_{уст_i}}{N},$$

где N – количество итераций за период;

$$k_{уст_i} = \begin{cases} 1, & \text{при } \left| U_{пр_{t_i}} - U_{пр_{t_i+T}} \right| < \xi; \\ 0, & \text{при } \left| U_{пр_{t_i}} - U_{пр_{t_i+T}} \right| > \xi; \end{cases}$$

и коэффициент, учитывающий диапазон регулирования синтезируемого преобразователя

$$k_p = \lambda/\pi,$$

где λ – диапазон регулирования

Таким образом, критерий выживаемости имеет вид:

$$k = \frac{1}{4}(k_{тр} + k_H + k_y + k_p).$$

Алгоритм, реализующий описанную процедуру оптимизации, устроен таким образом, что совокупность управляемых параметров (хромосом), имеющая больший критерий выживаемости, обладает большей вероятностью быть отобранной в следующее поколение в процедуре селекции.

При выполнении данной процедуры использован метод рулетки. Номеру совокупности, имеющий больший критерий выживаемости отводится сектор круга большего угла, и, значит, вероятность попадания случайного числа в данный сектор выше. Таким образом, формируется следующее поколение совокупностей параметров, обладающее лучшими качествами. При невыполнении условия окончания поиска (номер поколения больше числа поколений, заданного перед началом запуска алгоритма) выполняется процедура скрещивания.

Для осуществления этого был применен алгоритм одноточечного скрещивания двух соседних совокупностей со случайным выбором битовых строк[5]. Причем скрещиванию подвергаются пары совокупностей с некоторой вероятностью скрещивания. Далее случайным образом выбирается точка кроссинговера и формируется новое поколение (рис. 3).

Рисунок 2. Блок схема расчета

Рисунок 3. Алгоритм скрещивания

Для упреждения быстрой сходимости к локальному минимуму с некоторой вероятностью мутации гены совокупностей заменяются случайным числом, принадлежащим интервалу варьирования конкретного гена. При этом появляются совокупности, обладающие лучшим, либо худшим критерием выживаемости. Впоследствии данные совокупности участвуют в указанных выше процедурах селекции и скрещивания.

ЗАКЛЮЧЕНИЯ

Для проведения процедуры проектирования по приведенной методике была создана виртуальная среда проектирования преобразовательных устройств на разрядно-импульсную нагрузку. Таким образом, разработана эффективная методология проектирования исполнительных элементов разрядно-импульсных технологических установок, позволяющая за счет отсеивания нерациональных вариантов на ранних стадиях проектирования существенно в 7-8 раз уменьшить время счета при одновременном расширении диапазона рассмотрения варьируемых параметров, и выработать рекомендации по определению параметров электротехнологических установок, обеспечивающих повышение коэффициента мощности в 2 раза и достижению его значения, равного 0,8.

1. Костюкова, Т.П. Моделирование и принятие технических решений при разработке преобразователей параметров электроэнергии. –Уфа, 1999. –220 с.
2. David E. Goldberg. Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning. Addison-Wesley Publishing Co., Inc., 1989.
3. Панченко, Т. В. Генетические алгоритмы: учебно-методическое пособие / под ред. Ю. Ю. Тарасевича. — Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет», 2007. — 87 с.
4. Костюкова Т.П. Оптимизация силовых модулей автономных объектов на основе стохастических методов с самообучением / Международный научно-исследовательский журнал «Успехи современной науки и образования», 2017г. №2 Том 5 - С.105-109.
5. Костюкова А.П. Нейросетевые методы оценки состояния систем преобразования электроэнергии / Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн // Материалы IV Международной научно-практической конференции. Тамбов 2017. С. 275-279.

1. Kostyukova T. P. Modeling and acceptance of technical solutions when developing converters of parameters of the electric power. – Ufa. 1999. –220 p.
2. David E. Goldberg. Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning. Addison-Wesley Publishing Co., Inc., 1989.
3. Panchenko T.V. Genetic Algorithms : uchebno-metodic posobie / under red. U.U. Tarasevich. - Astrakhan, Publishing house "Astrakhan University".- 2007. — 87p.
4. Kostyukova T. P. Optimization of power modules of autonomous objects on the basis of stochastic methods with self-training / International research magazine "Uspekhi Sovremennoy Nauki I Obrazovaniya", 2017г. №2, v. 5 - P.105-109.
5. Kostyukova A. P. Neural network methods of assessment of a condition of systems of transformation of the electric power / Virtual modeling, prototyping and industrial design // Materials IV of the International scientific and practical conference.- Tambov. - 2017. P. 275-279.

Костюкова А.П., доцент, ktp@ufanet.ru

Kostyukova A.P., associate professor, ktp@ufanet.ru

Костюкова Т.П., профессор, ktp@ufanet.ru

Kostyukova T.P., professor, ktp@ufanet.ru