

УДК 621.3:658.512.2:004.021

## ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ РАЗВЯЗЫВАЮЩИХ КОНДЕНСАТОРОВ НА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЕ

Ландышев Д.В.

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ,  
г. Казань, Российская Федерация

Научный руководитель: Чермошенцев С.Ф. – д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры САПР

**Аннотация.** Размещение развязывающих конденсаторов позволяет решать проблемы повышения рабочих тактовых частот. В качестве алгоритма размещения предлагается классический генетический алгоритм. Анализ эффективности алгоритма размещения основывается на вычислении полного сопротивления цепи питания и земли.

**Ключевые слова:** развязывающий конденсатор, полное сопротивление цепи питания и земли, генетический алгоритм

**Введение.** В настоящее время при создании микропроцессоров и высокопроизводительных микросхем инженеры-проектировщики стараются снизить напряжение питания, но повышая при этом потребляемую мощность с целью улучшения показателей быстродействия [1]. В результате чего поглощаемая мощность изделия стремительно повышается, что неизбежно приводит к снижению уровня допустимых помех. Исходя из этого, различные просадки напряжения на шине питания при растущем уровне тока порождают довольно серьёзные нарушения в работе изделия.

Для разрешения данной проблемы существует множество методов, целью которых является минимизация полного сопротивления шины питания и заземления. Установка развязывающих конденсаторов относится к части этого множества, которая реализуется на этапе схемотехнического проектирования. Стоит отметить, что эффективность установки развязывающих конденсаторов во многом зависит от топологии печатного монтажа, способа и места установки подобных конденсаторов.

В данной работе рассматривается применение генетического алгоритма для размещения развязывающих конденсаторов на печатной плате (ПП). Целью данной работы является адаптация генетического алгоритма для оптимального размещения развязывающих конденсаторов на печатной плате.

**Основная часть.** Для оценки качества размещения развязывающих конденсаторов воспользуемся аналитическим уравнением импеданса для заданной частоты, полученным из решения волнового уравнения поперечных колебаний магнитного типа (*TM mode*) для модели печатной платы в виде вогнутой вставки (*cavity model*) [2]:

$$Z(f) = \sum_{m=0}^{mc} \sum_{n=0}^{nc} \frac{y_{mn} * c_{mn}(X_s, Y_s) * c_{mn}(X_f, Y_f) * W_z / (W_x * W_y)}{\varepsilon * \omega * Q + j \left( \varepsilon * \omega - \frac{k_{mn}^2 + k_{yn}^2}{\omega * \mu} \right) + \frac{y_{mn} * W_z * K_{Nc}}{W_x * W_y}} \rightarrow \min ,$$

где  $W_x \times W_y \times W_z$  – габариты печатной платы (ширина, высота, толщина);

$$c_{mn}(X_j, Y_j) = \cos(k_{xm} X_j) * \cos(k_{yn} Y_j) * \sin c \left( \frac{k_{xm} P_{xj}}{2} \right) * \sin c \left( \frac{k_{yn} P_{yj}}{2} \right);$$

$(X_j, Y_j)$  и  $(P_{xj}, P_{yj})$  – координаты подключения и габариты элемента  $j$ -го типа ( $s$  – источник питания,  $f$  – предполагаемый потребитель,  $C_i$  –  $i$ -ый развязывающий конденсатор);

$f$  – заданная рабочая частота ПП;

$\varepsilon, \mu, k$  – абсолютная диэлектрическая проницаемость, абсолютная магнитная проницаемость и удельная электропроводность диэлектрика ПП;

$(m, n)$  – текущая мода распространения поперечных колебаний магнитного типа;  
 $(m_c, n_c)$  – конечная мода распространения поперечных колебаний магнитного типа;  
 $\omega = 2 * \pi * f$  – угловая частота;

$$k_{xm} = \frac{\pi * m}{W_x}; k_{yn} = \frac{\pi * n}{W_y}; y_{mn} = \begin{cases} 1, & m = 0 \text{ и } n = 0 \\ 2, & (m \neq 0 \text{ и } n = 0) \text{ или } (m = 0 \text{ и } n \neq 0); \\ 4, & m \neq 0 \text{ и } n \neq 0 \end{cases}$$

$$Q = \tan \delta + \sqrt{\frac{2}{\omega * \mu * k * W_z^2}} - \text{волновое число};$$

$$K_{Nc} = \sum_{i=1}^{N_c} \frac{c_{mn}^2 (X_{Ci}; Y_{Ci})}{Z_{Ci}}; Z_{Ci} = Ri_{ESR} + j * \left( 2\pi * f * Li_{ESL} - \frac{1}{2\pi * f * C_{Ci}} \right);$$

$\tan \delta$  - тангенс угла диэлектрических потерь диэлектрика ПП;

$Ri_{ESR}, Li_{ESL}, C_{Ci}$  – эквивалентное последовательное сопротивление, эквивалентная последовательная индуктивность и собственная ёмкость  $i$ -го развязывающего конденсатора.

В качестве основы алгоритма размещения развязывающих конденсаторов был принят классический генетический алгоритм, методом селекции которого представляет собой метод отбора по правилу рулетки, оператором отбора родителей является панмиксия, кроссинговер производится одноточечно, а формирование нового поколения осуществляется комбинированным элитарным отбором.

Хромосома в нашем случае будет иметь вид  $[X_{C1}; Y_{C1}; I_{C1} \dots; X_{Ci}; Y_{Ci}; I_{Ci}]$ , где  $X_{Ci}$  и  $Y_{Ci}$  - координаты расположения  $i$ -го конденсатора,  $I_{Ci}$  – номер типа  $i$ -го конденсатора из заданных типов конденсаторов.

В качестве примера рассматривалось размещение 7 конденсаторов на ПП. Координаты размещения элементов отсчитываются от левого нижнего края. Исходные данные и доступные типы конденсаторов представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Исходные данные

Название параметра	Значение параметра
Габариты ПП (Ш × В × Т)	0,1 × 0,05 × 0,00015 [м]
Тангенс угла диэлектрических потерь диэлектрика ПП	0,02
Относительная диэлектрическая проницаемость диэлектрика ПП	4,1
Относительная магнитная проницаемость диэлектрика ПП	1
Удельная электропроводность диэлектрика ПП	59,6 * 10 <sup>9</sup> [См / м]
Координаты подключения источника питания	(0,093; 0,019) [м]
Координаты подключения предполагаемого потребителя	(0,027; 0,022) [м]
Габариты источника подключения	(0,254; 0,254) [мм]
Габариты предполагаемого потребителя	(0,254; 0,254) [мм]

Таблица 2 – Доступные типы конденсаторов

№ типа	Параметры типа			
	Габариты, мм	Паразитное сопротивление $R_{ESR}$ , Ом	Паразитная индуктивность $L_{ESL}$ , нГн	Собственная ёмкость $C$ , нФ
1	(3,2; 1,6)	0,095	1,8	29
2	(3,2; 2,5)	0,1	1	124
3	(4,5; 3,2)	0,163	2,2	129

На рисунке 1 представлен результат размещения развязывающих конденсаторов, где элемент  $F$  – предполагаемый потребитель; элемент  $S$  – источник питания; элементы  $C_0, \dots, C_6$  – развязывающие конденсаторы.

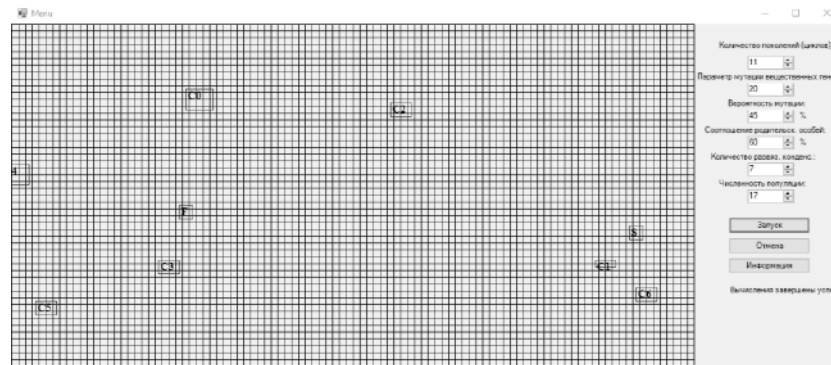


Рисунок 1 - Оконная форма программы

В результате работы была получена следующая расстановка конденсаторов:  $C_0(0,03 \text{ м}; 0,038 \text{ м})$ , тип – 3;  $C_1(0,089 \text{ м}; 0,015 \text{ м})$ , тип – 1;  $C_2(0,059 \text{ м}; 0,037 \text{ м})$ , тип – 2;  $C_3(0,025 \text{ м}; 0,014 \text{ м})$ , тип – 2;  $C_4(0,003 \text{ м}; 0,027 \text{ м})$ , тип – 3;  $C_5(0,007 \text{ м}; 0,008 \text{ м})$ , тип – 2;  $C_6(0,095 \text{ м}; 0,01 \text{ м})$ , тип – 2.

**Заключение.** Полученное оптимальное размещение развязывающих конденсаторов позволило снизить полное сопротивление цепи питания и земли до 7,8271 Ом в пиковом значении, что на 94% меньше в сравнении с моделью, в которой отсутствуют развязывающие конденсаторы.

### Список литературы

1. Л.Н. Кечиев. Проектирование печатных плат для цифровой быстродействующей аппаратуры – М.: ООО «Группа ИДТ», 2007. – 616 с.: ил. – (Библиотека ЭМС).
2. S. Kahng, "GA-optimized decoupling capacitors damping the rectangular power-bus' cavity-mode resonances," in IEEE Microwave and Wireless Components Letters, vol. 16, no. 6, pp. 375-377, June 2006, doi: 10.1109/LMWC.2006.875590.

UDC 621.3:658.512.2:004.021

## APPLICATION OF A GENETIC ALGORITHM FOR PLACING DECOUPLING CAPACITORS ON A PRINTED CIRCUIT BOARD

*Landyshev D.V.*

*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI», Kazan, Russian Federation*

*Chermoshencev S.F. – Ph. D. of engineering sciences, professor at the department of CADs*

**Annotation.** The placement of decoupling capacitors allows solving the problems of increasing the operating clock frequencies. A classical genetic algorithm is proposed as a placement algorithm. The analysis of the efficiency of the placement algorithm is based on the calculation of the total resistance of the power supply circuit and the ground.

**Keywords:** decoupling capacitor, total resistance of the power supply circuit and the earth, genetic algorithm