

Оптимальные фильтрокомпенсирующие устройства для силовых полупроводниковых преобразователей

(часть 2)

Леонид Добрусин (Москва)

В статье изложены основы теории и принципов проектирования оптимальных фильтрокомпенсирующих устройств, предназначенных для компенсации воздействия полупроводниковых преобразователей электроэнергии на питающую сеть. Во второй части статьи рассматривается алгоритм ТОП-метода и принципы построения программного комплекса ТОПМЕТ.

Алгоритм тождественного случайного поиска

Рассмотрим алгоритм тождественного случайного поиска координат (ТОП-алгоритм) на примере вычисления координат первой вершины исходного многогранника – X_1 (см. рис. 2).

Исходными данными ТОП-алгоритма являются: Q – скалярный параметр, равный реактивной мощности ФКУ; n – число координат, равное количеству фильтров ФКУ; ρ – вектор псевдослучайных чисел, равномерно распределённых на интервале (0, 1).

Требуется найти значения n координат, случайно распределённых в подпространстве допустимых значений координат при условии, что сумма координат равна Q .

Задача решается следующим образом:

1) определяется первая координата первой вершины исходного многогранника – x_{11} :

$$x_{11} = \rho_1 Q, \quad (16)$$

где ρ_1 – первое псевдослучайное число.

2) определяется верхняя граница второй координаты – b_{21} :

$$b_{21} = Q - x_{11}; \quad (17)$$

3) определяется вторая координата первой вершины исходного многогранника – x_{21} :

$$x_{21} = \rho_2 b_{21}, \quad (18)$$

где ρ_2 – второе псевдослучайное число;

4) из формул (16), (17) следуют соотношения для определения верхней границы i -й координаты и значения i -й координаты:

$$b_{i1} = b_{i-1,1} - x_{i-1,1}, \quad (19)$$

$$x_{i1} = \rho_i b_{i1}, \quad (20)$$

где b_{i1} – верхняя граница i -й координаты первой вершины многогранника; x_{i1} – i -я координата первой вершины многогранника; $b_{i-1,1}$ – верхняя граница предшествующей, $(i-1)$ -й координаты; $x_{i-1,1}$ – $(i-1)$ -я координата предшествующей вершины многогранника; ρ_i – i -е псевдослучайное число.

Формулы (19), (20) справедливы для всех i , кроме $i = 1$ и $i = n$. Для $i = 1$

координаты вычисляются по формуле (16), для $i = n$ – по формуле:

$$x_{n1} = b_{n-1,1}, \quad (21)$$

где $b_{n-1,1}$ – верхняя граница предпоследней $(n-1)$ -й координаты первой вершины многогранника; $x_{n-1,1}$ – предпоследняя, $(n-1)$ -я координата первой вершины многогранника.

Таким образом, в отличие от процедуры случайного поиска координат, базирующейся на изначально заданных векторах нижних и верхних границ координат, предложенный ТОП-алгоритм позволяет осуществить случайный поиск координат при ограничении на сумму координат типа тождества.

В задачах синтеза параметров ФКУ удобно считать, что вектор нижних границ \mathbf{G} является нулевым. Координаты вектора верхних границ \mathbf{H} формируются в процессе счёта. При этом изменяя значение стартового псевдослучайного числа ρ_1 , можно сформировать вектор первой вершины многогранника в любой области подпространства допустимых значений координат, чтобы производить исследование целевой функции на всём подпространстве её определения.

Принципы организации программного комплекса ТОПМЕТ

Программный комплект ТОПМЕТ предназначен для исследования и параметрической оптимизации ФКУ. Функциональная схема комплекса показана на рис. 3.

Программный комплект ТОПМЕТ содержит головную программу и семь подпрограмм: КОЕФ; FPTOC; FVIM; DKEK; OSPAN; OGRAN; FCEL.

Головная программа выполняет следующие операции:

- ввод и вывод исходных данных;

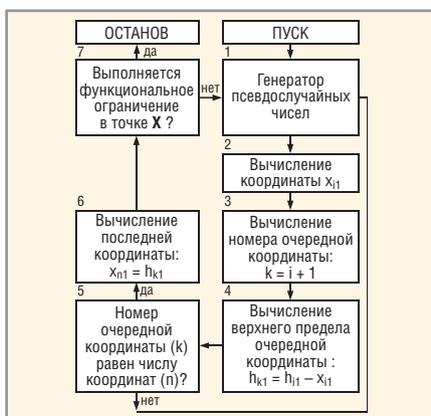


Рис. 2. Блок-схема поиска первой вершины многогранника

- управление функциональными подпрограммами;
- оформление и вывод результата решения задачи;
- остановку решения задачи.

Исходные данные (параметры) подразделяются на четыре группы.

Первая группа параметров устанавливает математические границы решения задачи. Таких параметров шесть:

- ISCT – количество разрешённых циклов поиска координат первой точки;
- ISCK – количество разрешённых циклов сжатий при смещении многогранника к экстремуму;
- YN – стартовое число, инициализирующее генератор псевдослучайных чисел;
- B1 – относительная точность вычисления экстремума;
- B2 – относительная точность вычисления экстремума;
- НЕКС – количество локальных экстремумов, заданных программе для поиска.

Вторая группа параметров задаёт физические константы исследуемой системы:

- Q – мощность К.З. питающей сети;
- U – напряжение питающей сети;
- T – ток преобразователя;
- M – пульсность преобразователя;
- KD – количество демпфированных фильтров (Д-фильтров);
- KY – количество узкополосных фильтров (У-фильтров);
- NN – количество гармоник, учитываемых в расчёте;
- S(I) – массив гармоник настройки фильтров;
- D(I) – массив добротностей фильтров.

Третью группу составляют параметры двойного толкования. С одной стороны, они имеют математический смысл, так как определяют структуру многогранника и допустимые границы изменения координат и функций, с другой стороны – физический смысл, поскольку вместе с параметрами второй группы характеризуют исследуемую систему в целом.

К этой группе параметров относятся:

- N1 – количество координат, или количество фильтров ФКУ;
- N2 – количество функциональных ограничений;
- NK – количество вершин многогранника, или количество вариан-

тов ФКУ, анализируемых при каждой итерации;

- G1 – массив нижних границ координат;
- N1 – массив верхних границ координат;
- G2 – массив нижних границ функциональных ограничений;
- N2 – массив верхних границ функциональных ограничений.

Четвёртая группа параметров управляет некоторыми позициями листинга и содержит три параметра:

- NP – ключ вывода параметров частотной характеристики оптимального варианта;
- JP – ключ вывода траекторий поиска экстремумов;
- KT – ключ вывода координат первой точки.

Если значения этих параметров равны единице, то информация выводится на печать, если нулю – информация не выводится.

Ниже приведена распечатка исходных данных задачи, а расшифровка дана в таблице.

```

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ
N1=3 N2=1 ISCT=9999 ISCK=9999
NK= 4 YN= 1.0000
B1= .0100 B2= .0200
НЕКС=1
G1: .0000E+00 .0000E+00
.0000E+00
N1: .5000E-01 .0000E+00 .0000E+00
G2: .0000E+00
N2: .5000E-01
Q=.10000E+01 U=.10000E+01
T=.15000E+00
    
```

Расшифровка некоторых исходных данных задачи

№	Параметр	Величина	Комментарий
1	M	24	Преобразователь выполнен по 24-пульсной схеме
2	N1	3	ФКУ содержит три фильтра
3	KD	1	Один Д-фильтр
4	KY	1	Один У-фильтр
5	N1– (KD + KY)	1	Один К-фильтр (конденсатор без реакторов)
6	Q	.10E+01	Мощность К.З. сети, о.е.
7	U	.10E+01	Напряжение сети, о.е.
8	T	.15E+00	Ток преобразователя, о.е.
9	S(I)	.5E+01, первое число	Гармоника настройки Д-фильтра
10	S(I)	.3E+01, второе число	Гармоника настройки У-фильтра
11	D(I)	.1E+01, первое число	Добротность Д-фильтра
12	D(I)	.3E+02, второе число	Добротность У-фильтра
13	N1	.5E-01, первое число	Реактивная мощность ФКУ, о.е
14	N2	.5E-01	Допустимое значение коэффициента несинусоидальности напряжения
15	NN	50	Количество гармоник, учитываемых в расчёте

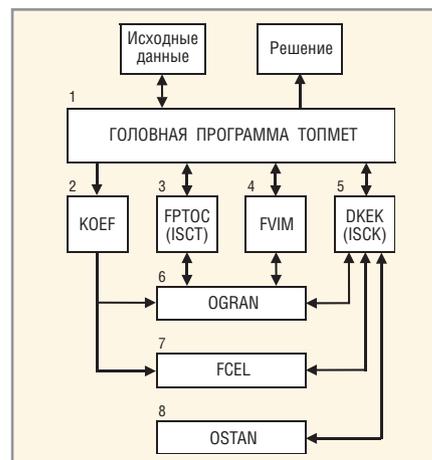


Рис. 3. Функциональная схема программного комплекта ТОПМЕТ

```

M=24
KD=1 KY=1
NN= 50
NP= 0 JP= 1 KT= 0
S(I) : .500E+01 .300E+01
.000E+00
D(I) : .100E+01 .300E+02 .000E+00
    
```

После ввода и вывода исходных данных головная программа ТОПМЕТ (см. рис. 3, блок 1) начинает решение задачи с помощью функциональных подпрограмм.

Вначале в подпрограмме KOEF для всех фильтров вычисляются постоянные коэффициенты [7], значения которых передаются в подпрограммы OGRAN (блок 6) и FCEL (блок 7), где используются для последующего вычисления на их основе текущих значений функции ограничения и целевой функции.

Затем в подпрограмме FPTOC (блок 3) рассчитываются координаты первой точки на основе ТОП-алгоритма. Подпрограмма FPTOC взаимодействует с подпрограммой OGRAN до тех пор, пока точка не будет признана допустимой по функциональному ограничению.

После решения этой части задачи головная программа передаёт управление поиском подпрограмме FVIM (блок 4), которая формирует матрицу вершин исходного многогранника D.

Далее, после завершения процедуры формирования вершин исходного многогранника, головная программа вводит в действие подпрограмму DKEK (блок 5), которая выполняет поиск локального экстремума. «Сфера общения» подпрограммы DKEK охватывает подпрограммы OGRAN (блок 6), FCEL (блок 7) и OSPAN (блок 8). К подпрограмме OSPAN подпрограмма DKEK обращается после каждой итерации, то есть после вычисления координат каждой новой точки в результате процедур растяжения или сжатия вектора поиска. В зависимости от значения функции ограничения, вычисленного в подпрограмме OSPAN, подпрограмма DKEK выбирает логический путь продвижения многогранника к экстремуму.

Если в новой точке функциональное ограничение не выполняется, что свидетельствует о недопустимости новой точки, то подпрограмма DKEK производит очередную операцию сжатия вектора поиска.

Если итерация завершается положительным исходом, то есть условие функционального ограничения в новой точке выполняется, подпрограмма DKEK обращается к подпрограмме FCEL, где рассчитывается значение целевой функции в новой точке.

Дальнейший ход решения задачи в подпрограмме DKEK зависит от результата, полученного от подпрограммы FCEL.

Если результат квалифицируется как отрицательный, то есть в новой точке значение целевой функции больше, чем в точке – вершине многогранника с максимальным значением целевой функции, то новая точка всё же отвергается, несмотря на её допустимость по условию функционального ограничения. Далее осуществляется очередная операция сжатия вектора поиска с целью продвижения к

более благоприятной точке в подпространстве допустимых значений переменной X.

Если результат квалифицируется как положительный, то есть в новой точке значение целевой функции меньше, чем в точке – вершине многогранника с максимальным значением целевой функции, то итерация в целом считается успешной, так как выполняются необходимые и достаточные условия для классификации точки в качестве новой вершины многогранника. В этом случае подпрограмма DKEK осуществляет продвижение многогранника на один шаг, то есть производит замену элементов одного столбца матрицы D, соответствующего вершине многогранника с максимальным значением целевой функции, на координаты новой точки.

После завершения процедуры реформирования многогранника подпрограмма DKEK обращается к подпрограмме OSPAN, чтобы оценить полученный результат по критериям оптимальности.

Если критерий оптимальности не выполняется, то подпрограмма DKEK продолжает работу и производит очередной цикл операций, начиная с растяжения вектора поиска.

Если результат удовлетворяет критерию оптимальности, то подпрограмма DKEK завершает работу и передаёт параметры решения задачи в головную программу ТОПМЕТ. Решение оформляется и выводится на внешнее периферийное устройство:

```
РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ
ЭКСТРЕМУМ НОМЕР 1
ЭКСТРЕМУМ ПОЛОГИЙ
ПАРАМЕТРЫ ЭКСТРЕМУМА
ЗНАЧЕНИЕ ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ FCMIN:
.9723259E+00
КООРДИНАТЫ ЭКСТРЕМУМА XNMIN(I):
.8874943E-02 .2328564E-01
.1783941E-01
ЗНАЧЕНИЕ ОГРАНИЧИВАЮЩЕЙ ФУНКЦИИ
LPM(I): .0493
СЛУЧАЙНОЕ ЧИСЛО AXN = .57486E+00
ОСТАТОК ЦИКЛОВ ПОИСКА ПЕРВОЙ
ТОЧКИ ISCT = 9997
ОСТАТОК ЦИКЛОВ ПОИСКА ЭКСТРЕМУМА
ISCK = 9996
```

Приведённое решение соответствует исходным данным и содержит минимальный объём информации, необходимой проектировщику ФКУ.

Согласно исходным данным, программе был задан поиск одного локального экстремума. Это задание подтверждается первой строкой распечатки, следующей после заголовка: «ЭКСТРЕМУМ НОМЕР 1».

Очередная строка «ЭКСТРЕМУМ ПОЛОГИЙ» свидетельствует о том, что область экстремума является «логичным оврагом».

Следующие две строки составляют собственно оптимальное решение задачи:

«ЗНАЧЕНИЕ ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ FCMIN=.972...» – это потери в процентах от реактивной мощности ФКУ;
 «КООРДИНАТЫ ЭКСТРЕМУМА XNMIN: .887...E-02 .232...E-01 .178...E-01» – это реактивные мощности фильтров ФКУ в относительных единицах; первая координата соответствует D-фильтру, вторая – U-фильтру, третья – K-фильтру.

Далее выведено значение функции ограничения для оптимальной точки: «LPM (I): .0493» – то есть величина коэффициента несинусоидальности напряжения.

Заключительные три строки содержат информацию, по которой можно судить, как проходил поиск оптимального решения:

AXN = 57486E+00 – последнее псевдослучайное число, которое было использовано для решения задачи;
 ISCT = 9997 – остаток допустимого числа циклов поиска координат первой вершины многогранника в подпрограмме FPTOC;
 ISCK = 9996 – остаток допустимого числа циклов поиска экстремума в подпрограмме DKEK.

Значения ISCT и ISCK показывают, что для решения задачи понадобилось два цикла поиска координат первой точки в подпрограмме FPTOC и три цикла сжатий вектора поиска в подпрограмме DKEK, что свидетельствует о корректности и благоприятном сочетании исходных данных этой конкретной задачи.

Если же исходные данные выбраны некорректно, то есть схема ФКУ не в состоянии обеспечить заданное значение коэффициента несинусоидальности напряжения в точке присоединения преобразователя к сети, то при попытке решения такой задачи с помощью комплекта ТОПМЕТ происходит аварийная остановка работы программы. Для этой цели служат счётчики ISCT и ISCK.

Если программа не может решить задачу в пределах разрешённого ей числа циклов поиска, то подпрограмма FPTOC или подпрограмма DKEK, в зависимости от того, какой из счётчиков зафиксировал превышение допустимого числа циклов, сообщают об этом головной программе, которая прекращает работу программного комплекта и выводит на печатающее устройство информацию: «ИСЧЕРПАН СЧЁТЧИК ISCT (или ISCK)».

СТРАТЕГИЯ ПОИСКА ГЛОБАЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

Метод тождественного поиска, как и все методы нелинейного программирования, предназначен для поиска локальных экстремумов. Эффективного универсального алгоритма глобальной оптимизации нелинейных функций в настоящее время не существует. Поэтому при необходимости глобального решения нелинейных задач создаются различные частные методы, которые могут давать хорошие результаты в одних случаях, но малоэффективны в других.

Стратегия поиска глобального решения в рассматриваемой задаче базируется на том, что при определённой организации процедуры случайного поиска можно вычислить любое заданное количество локальных экстремумов. При этом каждый очередной цикл поиска координат, обеспечивающих экстремум целевой функции, следует начинать в новой, не изученной ранее подобласти координат, осуществляя тем самым исследование множества результатов возможных решений и выбор из них предпочтительного.

Как было показано ранее, алгоритм поиска одного экстремума базируется на использовании ряда псевдослучайных чисел, равномерно распределённых на интервале (0, 1). Чтобы поиск координат последовательных локальных экстремумов выполнялся для каждого экстремума в новой подобласти, необходимо и достаточно организовать каждый цикл поиска одного локального экстремума на основе новой последовательности псевдослучайных чисел, используя для инициализации очередного цикла поиска последнее псевдослучайное число предшествующего цикла.

Работа алгоритма поиска глобального экстремума может завершаться при двух обстоятельствах:

- если найдено количество локальных экстремумов, определённое условиями задачи; в этом случае в качестве глобального экстремума квалифицируется экстремум с наименьшим значением целевой функции;
- если в процессе поиска заданного количества локальных экстремумов наблюдается определённое число экстремумов с равными минимальными значениями.

ПРИМЕРЫ ОПТИМАЛЬНОГО СИНТЕЗА ПАРАМЕТРОВ ФКУ ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Пусть заданы:

- мощность К.З. системы относительно точки присоединения преобразователя и ФКУ к сети, $Q_{К.З.} = 1$;
- номинальное напряжение сети, $U = 1$;
- ток основной частоты, потребляемый преобразователем из сети, $I_1 = 0,15$;
- мощность ФКУ, $Q = 0,05$.

В качестве базовых единиц приняты $Q_{К.З.}$, $I_{К.З.}$, $U_{К.З.}$, $x_{К.З.}$ системы.

Будем считать, что токи высших гармоник заданы уравнением:

$$I = I_1 J,$$

где I – вектор гармоник тока преобразователя; J – вектор коэффициентов.

Размерность векторов I и J равна числу гармоник тока преобразователя, учитываемых в расчёте.

Компоненты вектора J равны:

$$J_v = \begin{cases} \frac{1}{v}, & \text{если } v = v_n \\ 0,1 \frac{1}{v}, & \text{если } v = v_{a(6i \pm 1)} \\ 0,01 \frac{1}{v}, & \text{если } v = v_{a(3i)} \\ 0,001 \frac{1}{v}, & \text{если } v = v_{a(2i)} \end{cases},$$

где v_n – номер нормальной гармоники тока преобразователя; $v_{a(6i \pm 1)}$ – номер аномальной гармоники тока преобразователя ряда $(6i \pm 1)$, $i = 1, 2, 3, \dots$; $v_{a(3i)}$ – номер аномальной гармоники тока преобразователя ряда $3i$, $i = 1, 3, 5, \dots$; $v_{a(2i)}$ – номер аномальной гармоники тока преобразователя ряда $2i$, $i = 1, 2, 3, \dots$

Требуется найти вариант ФКУ с минимальными потерями при условии, что схема преобразователя и типы звеньев ФКУ определены.

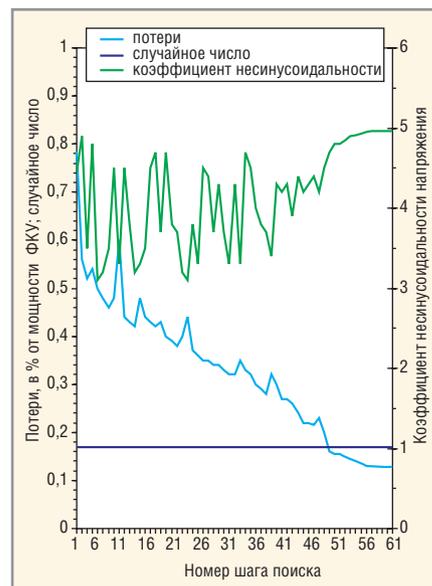


Рис. 4. Траектории поиска локального экстремума

Пример 1

Схема преобразователя – 24-пульсная.

ФКУ содержит три звена:

- У-фильтр третьей гармоники с добротностью 30;
- Д-фильтр пятой гармоники с добротностью 1;
- К-фильтр.

Типы фильтров ФКУ выбраны из следующих соображений. Нормальные гармоники тока 24-пульсной схемы находятся в области высоких частот. Можно предположить, что для их локализации окажется достаточным использование в качестве фильтра батареи конденсаторов, подключённой непосредственно к сети, то есть К-фильтра.

Вместе с тем, чтобы исключить усиление наиболее мощных аномальных гармоник, начиная с пятой, обусловленное резонансным контуром, образованным ёмкостью батареи конденсаторов и индуктивностью системы, применён широкополосный Д-фильтр пятой гармоники. Для предотвращения максимума в частотной характеристике системы на частоте третьей гармоники введён узкополосный фильтр, настроенный на эту частоту.

Результаты решения задачи показаны на рис. 4, 5.

Рисунок 4 иллюстрирует процедуру поиска одного локального экстремума.

На нём обозначено:

- «Потери» – траектория значений целевой функции;

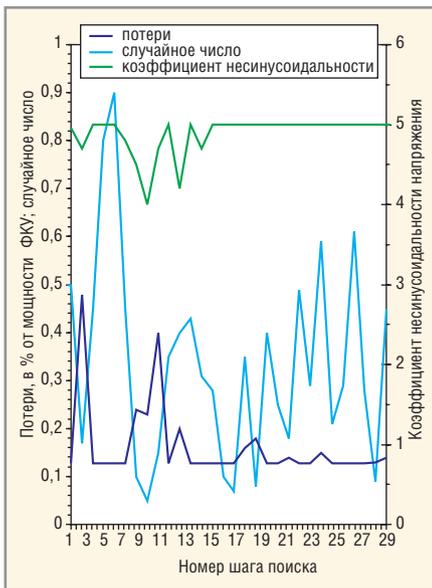


Рис. 5. Траектории поиска глобального экстремума

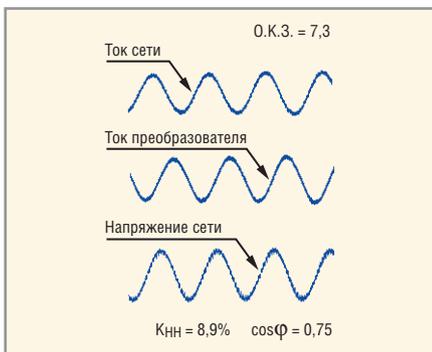


Рис. 6. Влияние на питающую сеть 24-пульсного преобразователя

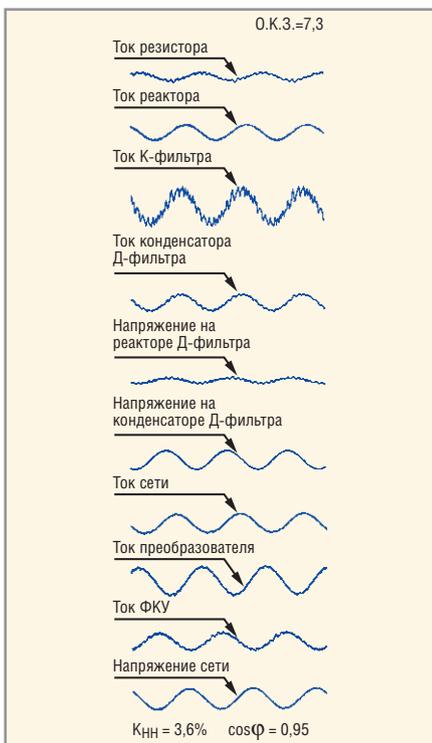


Рис. 7. Влияние на питающую сеть 24-пульсного преобразователя в комплексе с ФКУ

- «Коэффициент несинусоидальности напряжения» – траектория значений функции ограничения;
- «Случайное число» – траектория последнего псевдослучайного числа, которое было использовано в процедуре формирования вершин исходного многогранника.

По оси абсцисс откладывается номер шага поиска.

Значения потерь и координат на рисунках и далее по тексту даны в процентах от мощности ФКУ.

Наибольшее значение целевой функции получено в первой точке, которая является первой вершиной исходного многогранника. На рис. 4 параметры, соответствующие этой точке, расположены на оси ординат: потери – 0,784%; коэффициент несинусоидальности напряжения – 4,45%. Эти параметры получены при следующих значениях координат: Д-фильтр пятой гармоники – 96%; У-фильтр третьей гармоники – 1,6%; К-фильтр – 2,4%.

Дальнейшие точки аналогичным образом отражают процедуру движения многогранника к экстремуму.

На протяжении всей процедуры поиска генератор псевдослучайных чисел не используется, так как, согласно алгоритму движения многогранника, поиск экстремума осуществляется путём чередования операций растяжения и сжатия вектора поиска. В данном примере значение последнего псевдослучайного числа, которое было использовано при формировании вершин исходного многогранника, равно 0,17.

Поиск экстремума завершился на 61-м шаге. Экстремальная точка соответствует двухзвенной структуре ФКУ, состоящей из Д-фильтра пятой гармоники и К-фильтра. Мощность Д-фильтра составляет 17%, К-фильтра – 83%. У-фильтр третьей гармоники в данном случае оказался излишним. Потери в этой схеме составили 0,128%, то есть по сравнению с исходным вариантом уменьшились в 6,125 раз.

Результаты поиска глобального экстремума показаны на рис. 5. По оси абсцисс откладываются порядковые номера локальных экстремумов, по оси ординат обозначения те же, что и на рис. 4.

Первая точка на рис. 5 соответствует последней точке на рис. 4. Стартовое псевдослучайное число для поиска первого экстремума равно 0,5, для второго – 0,17, и т.д., чем обеспечива-

ется поиск каждого последующего локального экстремума в новой подобласти множества точек.

Можно констатировать, что с точностью поиска до тридцати экстремумов глобальным экстремумом является первая точка.

Пример 2

Схема преобразователя – 12-пульсная. ФКУ содержит три звена:

- Д-фильтр пятой гармоники с добротностью 1;
- У-фильтр тринадцатой гармоники с добротностью 30;
- К-фильтр.

Все остальные исходные данные те же, что и в примере 1.

Глобальным экстремумом с точностью поиска до тридцати экстремумов является точка **X*** с координатами:

$$X^* = (19,5\%; 22,6\%; 57,9\%).$$

Потери в экстремальной точке составили 0,208%. По сравнению с допустимым вариантом, где потери максимальны, они уменьшились в 1,7 раза.

Отметим, что попытка использовать схему ФКУ из примера 1 оказалась безрезультатной, так как не было найдено ни одного допустимого варианта распределения реактивной мощности между фильтрами, что обусловлено возрастанием токов нормальных гармоник, генерируемых преобразователем. Безуспешной оказалась также замена У-фильтра третьей гармоники на У-фильтр одиннадцатой гармоники, поскольку величина тринадцатой гармоники оставалась высокой. И только замена У-фильтра одиннадцатой гармоники на У-фильтр тринадцатой гармоники позволила за счёт взаимодействия Д-фильтра пятой гармоники и У-фильтра тринадцатой гармоники осуществить эффективную фильтрацию также и одиннадцатой гармоники, достаточную для формирования допустимых вариантов и последующего успешного решения задачи.

Пример 3

Схема преобразователя – 6-пульсная. ФКУ содержит пять звеньев:

- Д-фильтр семнадцатой гармоники с добротностью 1;
- У-фильтры пятой, седьмой, одиннадцатой, тринадцатой гармоник с добротностью 30.

Остальные исходные данные те же, что и в примерах 1, 2.

Глобальным экстремумом с точностью поиска до двадцати экстремумов является точка X^* с координатами:

$$X^* = (71,8\%; 13,2\%; 8,9\%; 3,8\%; 2,3\%).$$

Первая координата относится к Д-фильтру семнадцатой гармоники, остальные – к У-фильтрам пятой, седьмой, одиннадцатой и тринадцатой гармоник соответственно.

Потери в экстремальной точке составили 0,168%. По сравнению с допустимым вариантом, где потери максимальны, они уменьшились в 1,9 раза.

Примеры синтеза параметров ФКУ являются частью расчётов, которые выполнялись автором при выборе оптимального варианта ФКУ преобразовательного комплекса, предназначенного для питания технологических линий Ангарского электролизного химического комбината. В итоге этих расчётов было принято решение применить схему ФКУ, соответствующую результатам примера 1. Осциллограммы (рис. 6, 7), снятые в условиях действующего производства, свидетельствуют об эффективности принятого решения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Технический регламент «Об электромагнитной совместимости». Технологии электромагнитной совместимости. 2004, № 1(8).
2. Добрусин Л.А. Статические фильтрокомпенсирующие устройства. Автоматизированный электропривод, силовые полупроводниковые приборы, преобразовательная техника. Москва: Энергоатомиздат, 1983.
3. Добрусин Л.А. Проектирование фильтрокомпенсирующих устройств. Улучшение электромагнитной совместимости электрических полупроводниковых преобразователей как средство экономии материальных и энергетических ресурсов. Москва: ВНИИ ТПЭП, 1986.
4. Добрусин Л.А., Джафаров З.Г. Комплексный метод и его применение при проектировании фильтрокомпенсирующих структур. Электричество. 1986. № 8.
5. Химмельблауд Д. Прикладное нелинейное программирование. Пер. с англ. Москва: Мир, 1975.
6. Уайльд Д. Оптимальное проектирование. Пер. с англ. Москва: Мир, 1981.
7. Добрусин Л.А. Программный комплект параметрической оптимизации фильтрокомпенсирующих структур. Электротехника 2010, IV симп. Сборник докладов. Т. 1. Ч. 1. Москва: ВЭИ-ТРАВЭК, 1997. ©

Новости мира News of the World

Светодиоды и крылья бабочек?

Пит Вукусик и Ян Хупер из университета Эксетера (Великобритания) исследовали африканских бабочек-парусников *Prinsepis nireus* и выяснили, что способ, посредством которого их крылья флуоресцируют, аналогичен реализованному в современных светодиодах на фотонных кристаллах.

Идея усовершенствования существующих светодиодов путём увеличения количества испускаемого света с помощью фотонных кристаллов была предложена Алексеем Эрчаком из МТИ в 2001 году.

Сами фотонные кристаллы представляют из себя одно-, двух- или трёхмерные пористые структуры (так называемые решётки) с периодическим изменением коэффициента преломления среды. Кристаллическая решётка вытравливается на поверхности светодиода и позволяет ему испускать больше света. Более того, технология дополнена брэгговскими отражателями, не позволяющими свету задерживаться внутри вещества.

Система же в крыльях бабочек-парусников устроена следующим образом. В крыльях есть области, состоящие из воздушных микроотверстий. В этих областях и сконцентрирован пигмент, отвечающий за окраску крыльев. Пигмент, в свою очередь, поглощает из среды ультрафиолетовый свет и затем отражает его ярко-синим флуоресцирующим цветом.

Собственно, эти области крыльев с микроотверстиями и являются природной версией искусственных двумерных фо-



тонных кристаллов, а роль брэгговских отражателей играет зеркальный слой на обратной стороне крыла.

Доктор Вукусик считает, что способ, которым свет покидает крылья бабочки, абсолютно идентичен технологии LED, и изучение природных конструкций поможет учёным улучшить проектируемые устройства.

www.terralab.ru

Создан опытный образец дисплея на неорганической электролюминесценции

Опытный образец 17-дюймового дисплея с использованием неорганических электролюминесцентных материалов (IED) был представлен компанией iFire Technology – дочерним отделением компании Westaim (Канада).

IED-дисплеи основаны на толстоплёночном диэлектрическом процессе, в котором используется меньше производственных операций, что в результате даёт больший объём производства по сравнению с технологией плазменных индикаторов или ЖК-технологией. Кроме того, IED-дисплеи не основаны на высокоточной инкапсуляции жидкостей или хрупких внутренних структурах, как в устройствах на основе плазмы или в устройствах с поддержанием высокого вакуума, как в FED- и VFD-технологиях.

Экран, размер которого на 400% больше, чем у опытного образца, выставленного на прошлогодней конференции SID, может отображать 16,77 млн. цветов, имеет контрастность выше 300 : 1, угол обзора 170°, время реакции менее 2 мс и яркость более 300 нит. В дисплее используются схемы возбуждения столбцов и геометрия пикселей, которые эквивалентны схемам для 30-дюймового дисплея с форматом XGA; разрешение можно масштабировать для соответствия телевизионным форматам SDTV и HDTV.

www.online-ic.com