

УДК 621.311.017

В. В. Дабаров

## ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

В системах электроснабжения (СЭС) горных и промышленных предприятий, содержащих преимущественно электродвигательную нагрузку, происходит потребление значительного количества реактивной мощности. Для обеспечения эффективного энергопотребления и уменьшения потерь мощности возникает необходимость в решении задачи оптимизации процесса компенсации реактивной мощности. На практике для определения мест расположения и параметров устройств компенсации реактивной мощности, опираются на приближённые методы расчёта потребляемой реактивной мощности, которые учитывают номинальную мощность приёмников, номинальный  $\cos \varphi$  и коэффициент спроса [1,2]. Однако, эти методы не учитывают переходных процессов в СЭС, поэтому имеют существенную погрешность при наличии частых запусков и остановок двигателей, а также при наличии двигателей, имеющих переменную нагрузку.

Использование алгоритмов оптимизации на ЭВМ для определения мощностей устройств компенсации позволяет определить вариант компенсации, при котором потери в СЭС минимальны. Например, применение генетического алгоритма, основанное на методах расчёта, не учитывающих переходные процессы в СЭС, для задачи компенсации реактивной мощности, рассматривалось в работах [3,4,5]. Подобные способы оптимизации позволяют определить вариант расположения устройств компенсации реактивной мощности.

Математическая модель системы электроснабжения с электродвигательной нагрузкой и устройствами компенсации реактивной мощности [6] учитывает режимы работы двигателей и переходные процессы. В предложенной математической модели в качестве устройств компенсации используются конденсаторные батареи, которые будут рассматриваться в предлагаемом исследовании. При использовании алгоритмов оптимизации на основе модели [6] возможно более точно выбрать вариант расположения и параметров устройств компенсации реактивной мощности в СЭС, чем в рассмотренных выше способах.

Задача выбора варианта относится к так называемым задачам переборного типа. Одним из наиболее эффективных алгоритмов поиска оптимального решения в этих случаях является генетический алгоритм [7]. Отметим, что подобный метод использовался в работе [8].

При применении генетического алгоритма к решению задачи оптимизации параметров устройств компенсации реактивной мощности необ-

ходимо: выполнить кодирование варианта системы электроснабжения с устройствами компенсации в хромосому; выбрать способы селекции, методы скрещивания и мутации.

Далее необходимо определить параметры генетического алгоритма: размер популяции, количество поколений, вероятности скрещивания и мутации. Важно выбрать функцию приспособленности (фитнесс-функция) для определения оптимального варианта.

Известно, что по условиям физической реализуемости ёмкость устройства компенсации может принимать конечное множество значений. При этом можно выбрать максимальное значение ёмкости и задать шаг изменения ёмкости (точность, с которой будет производиться расчёт). В этом случае можно определить ёмкость конкретного конденсатора (конденсаторной батареи), который будет максимально близко подходить к вычисленным параметрам.

Зададим максимальное значение ёмкости, которое может иметь устройство компенсации —  $C_{max}$ , также зададим точность, с которой необходимо определить значение ёмкости устройства компенсации —  $h$ . Тогда ёмкость  $i$ -го устройства компенсации можно записать в виде:

$$C_i = b_i \cdot h, \quad (1)$$

здесь  $b_i$  — целое число ( $0 \leq b_i \leq b_{max}$ , при этом  $b_{max} \cdot h \leq C_{max}$ ). Таким образом каждому вещественному числу  $C_i$  соответствует целое число  $b_i$ .

Допустим, что в системе электроснабжения существует  $N$  мест, где возможна установка устройств компенсации. Тогда задача оптимизации сводится к определению множества целых чисел  $b$ . Если отсутствует необходимость в устройстве компенсации в том или ином месте,  $b$  просто приравнивается к нулю и в расчёте не учитывается.

Теперь представим целое число  $b$  в виде последовательности бит.

$$b = \sum_{i=0}^l 2^{v_i}. \quad (2)$$

Здесь  $v_i$  — бит с индексом  $i$  в последовательности, а  $l$  — величина последовательности:

$$l = \log_2 n. \quad (3)$$

Объединив все последовательности, получим одну, состоящую из  $Nl$  бит, последовательность, которая и будет служить хромосомой для генетического алгоритма. Графически хромосома изображена на рис. 1, где  $v_1^i$  и  $v_l^i$  — соответственно

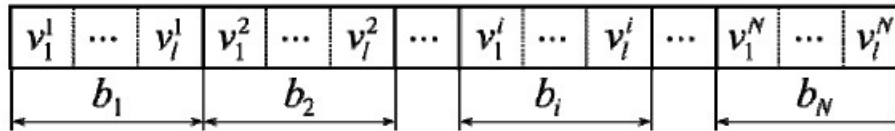


Рис. 1. Графическое представление хромосомы

первый, и последний бит в  $i$ -ой последовательности, или ген в терминах генетического алгоритма.

Вышесказанное определяет алгоритм вычисления функции приспособленности.

1. В процессе оптимизации формируется хромосома – последовательность бит, которая разбивается на  $N$  последовательностей по  $l$  бит.

2. Каждая из последовательностей преобразуется в целое число по выражению **Ошибка!** **Источник ссылки не найден.**

3. Из полученных целых чисел образуется последовательность ёмкостей по выражению 1.

4. Каждому из устройств компенсации в модели присваивается соответствующая ёмкость.

5. Производится моделирование полученной системы электроснабжения.

6. Из результатов моделирования вычисляется функция приспособленности.

Один из вариантов функции приспособленности — это суммарные потери в распределительной сети. После моделирования и получения зависимости тока от времени на каждом участке распределительной сети, можно вычислить среднюю величину потерь мощности в сети:

$$\Delta P = \frac{1}{T} \sum_{j=0}^m \left( \int_0^T i_j^2(t) R_j dt \right), \quad (4)$$

где  $\Delta P$  – мощность,  $m$  – количество участков распределительной сети,  $i$  – ток в  $j$ -ом участке,  $R$  – активное сопротивление  $j$ -го участка.

Второй вариант — срок окупаемости оборудования. Для этого необходимо посчитать потребление активной мощности в первоначальном варианте и сравнить их с текущей:

$$\Delta P = P_0 - P_1,$$

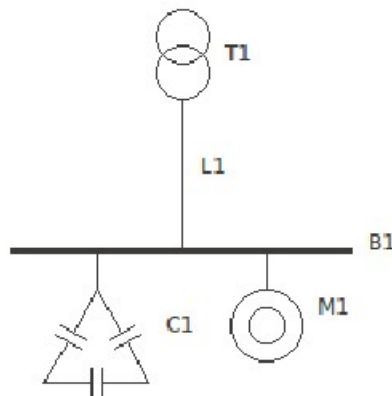


Рис. 2. Простейший пример СЭС

где  $P_0$  – первоначальное потребление,

$P_1$  – потребление активной мощности после компенсации.

Экономия от компенсации составит:

$$\mathcal{E}(t) = \Delta P \cdot \Pi_3 \cdot t, \quad (5)$$

где  $\mathcal{E}$  – экономия (зависимость от времени),  $\Pi_3$  – тариф на электроэнергию,  $t$  – время.

Затраты на установку устройств компенсации:

$$Z = \sum_{i=0}^m C_{T_i}, \quad (6)$$

где  $Z$  – затраты,  $C_{T_i}$  – стоимость каждого устройства и его установки,  $m$  – количество устройств.

С учётом затрат суммарная экономия составит:

$$\mathcal{E}(t) = \Delta P \cdot \Pi_3 \cdot t - Z. \quad (7)$$

Как видно из 8, в момент времени  $t = 0$  экономия отрицательная, потому что были приобретены устройства компенсации. Поэтому имеет место срок окупаемости этого оборудования, когда суммарная экономия достигнет нуля ( $\Delta P \cdot \Pi_3 \cdot T - Z = 0$ ):

$$T = \frac{\sum_{i=0}^m C_{T_i}}{\Delta P \cdot \Pi_3} \quad (8)$$

Минимизация этого параметра тоже может быть задачей компенсации.

Учитывается вся потреблённая электроэнергия, а не только потери в распределительной сети. Делается это из соображения, что при различных режимах питания может меняться напряжение на некоторых участках системы электроснабжения, что приведёт к изменению потребляемой мощности самими приёмниками электроэнергии.

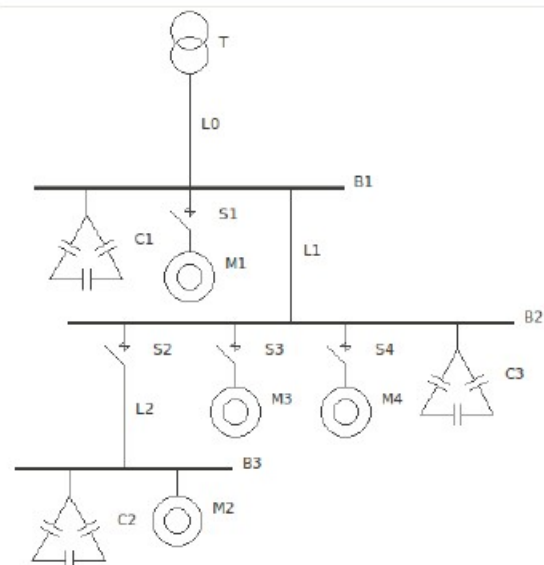


Рис. 3. Пример СЭС с устройствами компенсации



### Результаты оптимизации

#### Одно устройство компенсации

Рассмотрим пример (рис. 2) одного двигателя, питаемого через кабель от трансформатора. Необходимо выбрать ёмкость устройства компенсации так, чтобы потери в кабеле были минимальные. Был выбран двигатель ДКВ45 с нагрузкой 150 Н·м – вязкое трение, кабель – АПВВГ 4х70 длиной 0,1 км.

Параметры оптимизации: размер популяции – 25, количество поколений – 20, максимальная ёмкость – 1000 мкФ, точность – 1 мкФ, вероятность мутации – 0,05, вероятность скрещивания – 1. Для реализации алгоритма разработано программное средство, форма с введёнными параметрами оптимизации изображена на рис. 4. **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

В результате оптимизации вычислена ёмкость – 56 мкФ, потери составили 0,304 кВт. Без компенсации потери – 0,384 кВт (уменьшились на 80 Вт). Уменьшение в год составит около 700 кВт·ч (порядка 1,5 млн. руб), что при стоимости такого устройства компенсации в несколько десятков тысяч рублей дает значительно.

#### Несколько устройств компенсации

Для примера системы, рассмотренного ранее в [6], произведём оптимизацию с несколькими возможными вариантами размещения устройств компенсации (рис. 3). Параметры оптимизации: размер популяции – 50, количество поколений – 20, максимальная ёмкость 5000 мкФ, точность – 10 мкФ, вероятность мутации – 0,05.

Значения ёмкостей, полученных после оптимизации:  $C_1=710$  мкФ,  $C_2=1700$  мкФ,  $C_3=$

Рис. 4. Диалог оптимизации

280 мкФ. Потери – 61,15 кВт с компенсацией, 99,81 кВт без компенсации. Экономия составила 38,66 кВт. Суммарная номинальная нагрузка системы составляет 800 кВА.

#### Выводы

Предлагаемый метод оптимизации позволяет учитывать не только расчётную нагрузку, но и переходные процессы, происходящие при запуске и остановке двигателей, а также при переменном характере механической нагрузки двигателей. Из примеров видно, что применение устройств компенсации приводит к значительному уменьшению потерь активной мощности в СЭС. В обоих случаях экономия достаточно существенна, так как снижение потерь соизмеримо с самой нагрузкой. Генетический алгоритм позволяет добиться наилучшего из возможных вариантов расположения и параметров устройств компенсации реактивной мощности, т. к. изменение любой ёмкости хотя бы на 1 мкФ в приведенных примерах приводит к увеличению потерь.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Железко Ю. С. Компенсация реактивной мощности в сложных электрических системах. - М.: Энергоиздат, 1981. - 200 с.
2. Руководящий технический материал "Указания по проектированию установок компенсации реактивной мощности в электрических сетях общего назначения промышленных предприятий" ... - М.: ВНИПИ Тяжпромэлектропроект, 1993. - 53 с.
3. Туликов А. Н. Управление режимами реактивной мощности и напряжения систем электроснабжения предприятий методами искусственного интеллекта: дисс... канд. тех. наук : 05.14.02 / Туликов А.Н. - Красноярск, 2007. 171 с.
4. Лоскутов А. Б., Еремин О. И. Многоцелевая оптимизация компенсации реактивной мощности в электрических сетях // Промышленная энергетика. 2006. № 6. С. 39-41.
5. Optimal Capacitor Placement Using Deterministic and Genetic Algorithms / M. Delfanti, G. Granelli, P. Marannino, M. Montagna. - IEEE Trans. Power Systems, vol. 15, 2000, №3, Aug.
6. Дабаров В. В. Математическая модель системы электроснабжения с электродвигательной нагрузкой и устройствами компенсации реактивной мощности // Вестник КузГТУ. - 2011. - №3. - С. 66-68
7. J. H. Holland. Adaptation in natural and artificial systems. University of Michigan Press, Ann Arbor, 1975.
8. Негодаев В. А. Определение оптимальных параметров сети электроснабжения с электродвигательной нагрузкой: Дисс. канд. тех. наук. / Кузбасский гос. техн. ун-т. Кемерово, 2009.

□ Автор статьи:

Дабаров  
Владимир Викторович,  
аспирант каф. прикладных информационных технологий КузГТУ  
, e-mail: [dabarov@gmail.com](mailto:dabarov@gmail.com)