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 применения генетического алгоритма к решению задачи оптимизации параметров устройств компенсации реактивной мощности необходимо: 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:

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

здесь b_i – целое число ($\mathbf{0} \le b_i \le b_{max}$, при этом $b_{max} \cdot h \le C_{max}$). 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.

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

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

$$l = \log_2 n\,. \qquad (3)$$

Объединив все последовательности, получим одну, состоящую из $N{\cdot}l$ 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

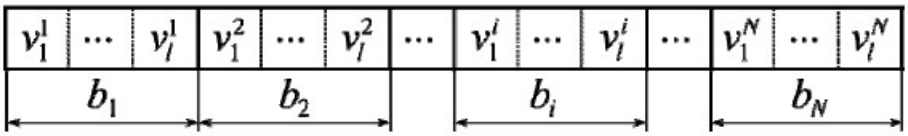

Рис. 1. Графичекое представление хромосомы

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:

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

где ΔP – мощность, m – количество участков распределительной сети, i – ток в j-ом участке, R – активное сопротивления j-го участка.

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

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

где P_0 – первоначальное потребление,

P_1 – потребление активной мощности после компенсации.

Экономия от компенсации составит:

$$\text{Э}(t) = \Delta P \cdot \text{Ц}_\text{Э} \cdot t, \qquad (5)$$

где Э – экономия (зависимость от времени), $\text{Ц}_\text{Э}$ – тариф на электроэнергию, t – время.

Затраты на установку устройств компенсации:

$$\text{З} = \sum_{i=0}^{m} \text{Ст}_i, \qquad (6)$$

где З – затраты, Ст – стоимость каждого устройства и его установки, m – количество устройств.

С учётом затрат суммарная экономия составит:

$$\text{Э}(t) = \Delta P \cdot \text{Ц}_\text{Э} \cdot t - \text{З}. \qquad (7)$$

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 **(ΔP·Ц$_\text{Э}$·T−З=0)**:

$$T = \frac{\sum_{i=0}^{m} \text{Ст}_i}{\Delta P \cdot \text{Ц}_\text{Э}} \qquad (8)$$

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.

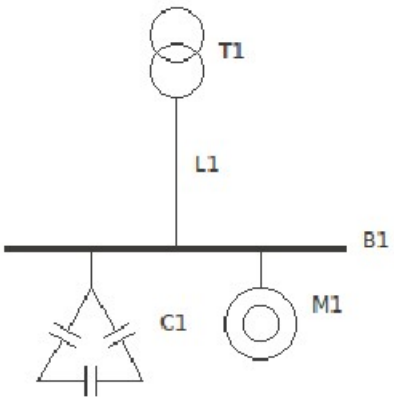

Рис. 2. Простейший пример СЭС

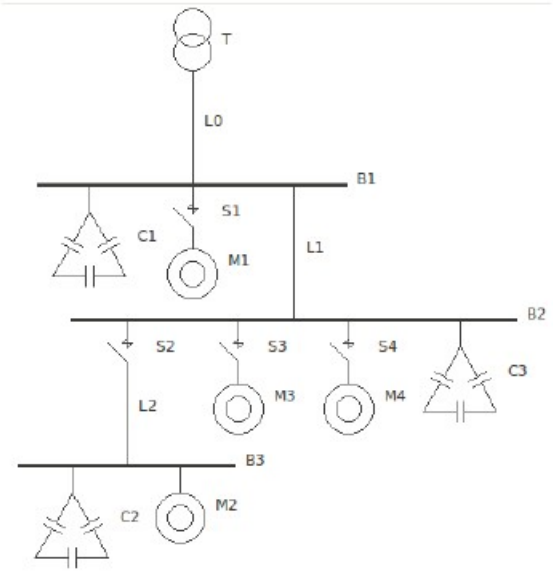

Рис. 3. Пример СЭС с устройствами компенсации

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.**

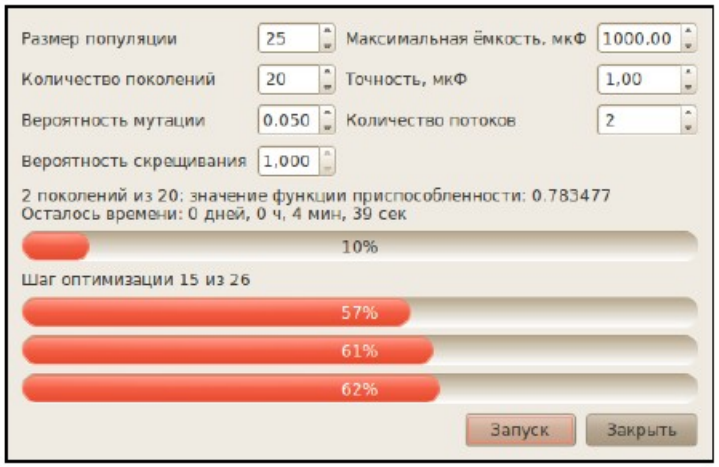

Рис. 4. Диалог оптимизации

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: C1=710 мкФ, C2=1700 мкФ, C3=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. *Негадаев 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.