## 6 КОМПЛЕКСНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗОК

* 1. **Исходные данные для решения задачи**

На основании рассмотренных в разделе 2 методов распределения активной и реактивной нагрузок произведем расчет оптимального распределения мощностей на примере произвольной схемы. Конфигурацию схемы сети выберем произвольную, значения нагрузок и характеристики блоков, допущения – тоже. Для проведения расчетов воспользуемся литературой [16-21, 23, 24]. Проиллюстрируем исходные данные для расчета в виде таблиц 6.1-6.3. На рисунке 6.1 изображена заданная схема сети.



Рисунок 6.1 – Исходная схема сети

Таблица 6.1 – Параметры исходной схемы

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер линии | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Длина линии,км | 80 | 70 | 80 | 90 | 120 |

Для всех линий сети приняты следующие параметры:

Удельные сопротивления :



Зарядная мощность :

.

Таблица 6.2 – Характеристики блоков

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер  блока | Pmin,  МВт | Bmin,  т.у.т | Pср,  МВт | Bср,  т.у.т | Pmax,  МВт | Bmax,  т.у.т |
| B1 | 90 | 36.48 | 170 | 69.12 | 250 | 112 |
| B2 | 100 | 36 | 300 | 148 | 500 | 348 |
| Bб | 140 | 56.72 | 220 | 105.68 | 300 | 170 |

Первая характеристика соответствует станции 1, вторая – балансирующей станции, третья – станции номер 2 (В1 – 1; В2 – 3; Вб – 2).

Распределяемая нагрузка потери в сети составляют 5%, .

Таблица 6.3 – Распределение нагрузки в узлах

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Узел | 1 | 2 | 3 | 4 | Б |
| Распределение нагрузки в узлах | - | 20% | 40% | 40% | - |

## 

### 6.2 Распределение нагрузки по критерию равенства относительных приростов расхода топлива

Определим значения активных нагрузок в узлах рассматриваемой сети:

, (6.1)

где − активная нагрузка i-го узла,

− распределение активной нагрузки i-го узла,

суммарная активная нагрузка i-х узлов.

Аналогично определяется реактивная нагрузка узлов:

(6.2)

где реактивная нагрузка i-го узла,

косинус угла нагрузки,

активная нагрузка i-го узла.

С учетом таблицы 6.3 и формулы 6.1 и 6.2 произведем расчет:

Сопротивление линий определяется по формуле:

( 6.3)

где полное сопротивление линии на единицу длины,

− длина линии k,

n − число цепей линии.

С учетом исходной информации и формулы 6.3 полные сопротивления линии будут определены следующим образом:

Зарядная мощность линии определяется по следующей формуле:

(6.4)

где зарядная мощность линии,

зарядная мощность на единицу длины линии.

По формуле 6.4 определим значения зарядных мощностей линий:

Определим характеристики удельного расхода топлива.

Генерирующими узлами являются узлы 1, 2 и Б. Зная диапазон допустимых мощностей этих узлов, находим Pcр для каждой станции как среднеарифметическое значение.

Для начала найдем аналитическое выражение расходных характеристик В1, В2, Вб.

Известно, что зависимости В(Р) имеют вид параболы:

(6.5)

где P – мощность станции,

a, b, c - коэффициенты степенного полинома.

Для определения параметров a, b, c достаточно знать три точки на расходной характеристике, данные представлены в таблице 6.2.

Для каждой станции составляем систему из 3-х уравнений (функция расхода топлива) по формуле 6.5. Полученные системы решаем в матричном виде.

Для первой станции:

Решив систему линейных уравнений, получаем:

a1 = 0,0008; b1 = 0,2; c1 = 12.

Таким образом, получили коэффициенты расходной характеристики a, b и c. Тогда для первой станции получим выражение расходной характеристики топлива:

.

Для второй станции:

.

Решив систему линейных уравнений, получаем:

a2 = 0,0011; b2 = 0,12; c2 = 13.

Таким образом, получили коэффициенты расходной характеристики a, b и c. Тогда для второй станции получим выражение расходной характеристики топлива:

.

Для балансирующей станции:

Решив систему линейных уравнений, получаем:

aб = 0,0012; bб = 0,18; cб = 8.

Таким образом, получим выражение расходной характеристики топлива балансирующей станции:

.

Относительный прирост расхода топлива для каждой станции определяется по производной:

(6.6)

Найдем относительный прирост расхода топлива для каждой станции по формуле 6.6:

Проиллюстрируем характеристики относительных приростов на рисунке 6.2

А) Графический метод

Распределим активную нагрузку(с учетом потерь в 5%) по критерию равенства относительных приростов .

Баланс мощностей выглядит так:

P1 + P2 + Pб = Рн2 + Рн3 + Рн4

P1 + P2 + Pб =610 МВт.

На рисунке 6.2, по графику, определим относительный прирост расхода топлива, соответствующий Для этого проведем через эту точку прямую, параллельную оси абсцисс. Полученные результаты распределения мощности в узлах 1, 2 и Б соответствуют допустимым диапазонам работы .

Таким образом, получим распределение нагрузки:

Исходя из этого, расход топлива определяется следующим образом:

Б) Аналитический метод

Распределение мощности генерации по электрическим станциям производится с учетом баланса мощностей, а экономичным считается режим, когда относительные приросты потерь равны (), по формуле 6.6:

Полученные результаты распределения мощности в узлах 1, 2 и Б соответствуют допустимым диапазонам работы :

Исходя из этого, расход топлива определяется следующим образом:

### Для наглядности, сведем результаты расчета в таблицу 6.4.

Таблица 6.4 – Результаты расчета распределения активной нагрузки

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Название метода | P1,  МВт | B1,  т.у.т | P2,  МВт | B2,  т.у.т | Pб,  МВт | Bб,  т.у.т | B∑,  т.у.т |
| Графический | 250 | 112 | 210 | 86,71 | 150 | 62 | 260,71 |
| Аналитический | 235 | 103,18 | 208 | 85,55 | 167 | 71,53 | 260,26 |

### 6.3 Распределение реактивной мощности между источниками

Реактивная мощность во всей сети равна:

(6.7)

где - потребляемая реактивная мощность в сети;

- потери реактивной мощности в продольных элементах сети;

- зарядная мощность линий.

Потери реактивной мощности примем учтенными в виде коэффициента, который условно принимается равным kq = 0,12. Остальные необходимые значения были рассчитаны в начале пункта 6.2. Подставляя найденные значения в формулу 6.7 получим:

258,43 Мвар.

Найденную зарядную мощность каждой ветви учтем в реактивной нагрузке узлов:

Тогда:

Учитывая баланс реактивной мощности в ЭСС, запишем систему уравнений:

При допущении, что коэффициент мощности на всех станциях одинаков, найдем

Тогда .

Тогда распределение реактивной мощности между источниками будет выглядеть следующим образом (значения возьмем их результатов расчета по аналитическому методу):

### 6.4 Расчет электрического режима по коэффициентам токораспределения

Поскольку сеть однородная, то расчет удобнее производить по эквивалентным длинам. На рисунке 6.3 изображена схема сети с условными направлениями токов.



Рисунок 6.3 - Схема сети с условно-положительными направлениями токов

Составим матрицу коэффициентов токораспределения [23]. Для этого будем прикладывать единичный ток к каждому узлу (кроме базисного) по очереди, «отбрасывая» при этом все остальные нагрузки и генерации (рисунок 6.4).



Рисунок 6.4 – Расчет матрицы токораспределения

Если направление тока совпадает с условно положительным направлением тока, то коэффициент положительный. Если не совпадает, то - коэффициент отрицательный. Тогда матрица токораспределения имеет вид:

,

где, например, коэффициент , учитывающий распределение тока в первой ветке от первого узла, находим следующим образом:

Умножив матрицу потокораспределения на вектор узловых мощностей, найдем потокораспределение в сети:

Результаты расчета нанесем на рисунок 6.5



Рисунок 6.5 – Потокораспределение активной мощности в сети

### 6.5 Решение «задачи Q»: оптимизация режима по реактивной мощности из условия минимума потерь активной мощности

Задача оптимизации по реактивной мощности заключается в минимизации суммарных потерь активной мощности по энергосистеме. Потери активной мощности являются функцией как потоков по линиям активной мощности, так и потоков реактивной мощности. Потери как активной так и реактивной мощности можно определить по выражению:

(6.8)

(6.9)

где - поток активной и реактивной мощности по i-й ветви,

- напряжение сети,

- активное сопротивление линии,

- реактивное сопротивление линии.

Согласно приведенной выше формуле 6.8 для оптимизации режима по реактивной мощности необходимо знать потокораспределение реактивной и активной мощностей по ветвям. Для этого сначала запишем выражения для реактивной мощности в узлах с учетом генерации в ЛЭП.

Приведенная реактивная нагрузка узла определяется:

(6.10)

где k - количество подходящих к узлу линий.

Подставим соответствующие значения в формулу 6.10 и определим приведенную реактивную нагрузки для первого узла:

Тогда узловые реактивные мощности равны:

Результаты аналогичных вычислений оформим в виде таблицы 6.5

Таблица 6.5 - Узловая реактивная мощность

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Узел | Б | 1 | 2 | 3 | 4 |
| , Мвар | 17,52 | 11,68 | 13,4 | 24,09 | 28,47 |
| , Мвар | 0 | 0 | -46,15 | -92,3 | -92,3 |
| , Мвар | 17,52 | 11,68 | -33,01 | -68,21 | -63,83 |

Произведем расчеты аналогичные пункту 6.4 для нахождения распределения реактивной мощности по ветвям:

Тогда можно найти оптимальные значения реактивной мощности на первой и второй станциях, т.е. такие значения *Q1* и *Q2*, чтобы потери активной мощности в сети были минимальны. Для этого найдем частные производные, приравняем их к нулю и из полученных уравнений найдем *Q1* и *Q2* .

Таким образом, получили следующую систему линейных уравнений:

Решая полученную систему в матричном виде, найдем реактивные мощности, выдаваемые первой и второй станциями.

= 40,113 Мвар;

= 77,759 Мвар.

Базисный узел берет на себя весь небаланс сети.

Тогда можно найти распределение реактивной мощности по ветвям:

Представим результаты расчета на рисунке 6.6



Рисунок 6.6 – Потокораспределение активной и реактивной мощности в сети

В схеме учтены зарядные емкости ЛЭП в каждом узле согласно таблице 6.5. Зная потокораспределение в сети, можно найти потери в ЛЭП по формулам 6.8 и 6.9 и представим результаты в таблице 6.6.

Таблица 6.6 - Потери в сети

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Ветвь i | Ri | Xi | Pi | Qi | dPi | dQi |
| 1 | 4,8 | 33,04 | 125,57 | 25,15 | 1,488 | 10,243 |
| 2 | 4,2 | 28,91 | 15,71 | 1,69 | 0,020 | 0,136 |
| 3 | 4,8 | 33,04 | 111,83 | 26,64 | 1,199 | 8,254 |
| 4 | 2,7 | 18,585 | 92,25 | 44,75 | 0,537 | 3,693 |
| 5 | 3,6 | 24,78 | 137,41 | 35,49 | 1,371 | 9,435 |
|  |  |  | Суммарные потери | | 4,614 | 31,762 |

Определим долю потерь мощности в процентах :

.

### 6.6 Решение «задачи Р»: распределение активной мощности между станциями

А) Графический метод с учетом поправки на потери

В пункте 6.4 были найдены потоки активной мощности по ветвям:

.

Найдем относительный прирост потерь мощности для 1-ой и 2-ой станций по формуле:

(6.11)

Тогда поправочные коэффициенты будут равны:

Функции относительных приростов расхода топлива с учетом поправочных коэффициентов будут иметь следующий вид:

Построение графиков аналогично приведенному в подпункте 6.2. Распределим активную нагрузку по критерию равенства относительных приростов. Результаты расчета представим в виде таблицы, где для сравнения, находятся расчеты характеристики по соответствующему методы из пункта 6.2. Сама характеристика изображена на рисунке 6.7

Таблица 6.7 – Характеристики относительных приростов

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Без учета поправки на потери | | | | С учетом поправки на потери | | | |  | |
| Станция 1 | | Станция 2 | | Станция 1 | | Станция 2 | | Балансирующая станция | |
| P1, МВт |  | P2, МВт |  | P1, МВт |  | P2, МВт |  | Pб, МВт |  |
| 90 | 0,344 | 100 | 0,34 | 90 | 0,34432 | 100 | 0,335 | 140 | 0,516 |
| 100 | 0,360 | 125 | 0,395 | 100 | 0,36032 | 125 | 0,390 | 160 | 0,564 |
| 110 | 0,376 | 150 | 0,450 | 110 | 0,37632 | 150 | 0,444 | 180 | 0,612 |
| 120 | 0,392 | 180 | 0,516 | 120 | 0,39232 | 180 | 0,509 | 200 | 0,66 |
| 130 | 0,408 | 200 | 0,560 | 130 | 0,40832 | 200 | 0,552 | 220 | 0,708 |
| 140 | 0,424 | 220 | 0,604 | 140 | 0,42432 | 220 | 0,596 | 240 | 0,756 |
| 150 | 0,440 | 250 | 0,670 | 150 | 0,44032 | 250 | 0,661 | 260 | 0,804 |
| 160 | 0,456 | 275 | 0,725 | 160 | 0,45632 | 275 | 0,715 | 280 | 0,852 |
| 170 | 0,472 | 300 | 0,780 | 170 | 0,47232 | 300 | 0,770 | 300 | 0,9 |
| 180 | 0,488 | 325 | 0,835 | 180 | 0,48832 | 325 | 0,824 |  |  |
| 190 | 0,504 | 350 | 0,890 | 190 | 0,50432 | 350 | 0,878 |  |  |
| 200 | 0,520 | 375 | 0,945 | 200 | 0,52032 | 375 | 0,932 |  |  |
| 210 | 0,536 | 400 | 1 | 210 | 0,53632 | 400 | 0,987 |  |  |
| 220 | 0,552 | 425 | 1,055 | 220 | 0,55232 | 425 | 1,041 |  |  |
| 230 | 0,568 | 450 | 1,110 | 230 | 0,56832 | 450 | 1,095 |  |  |
| 240 | 0,584 | 475 | 1,165 | 240 | 0,58432 | 475 | 1,149 |  |  |
| 250 | 0,600 | 500 | 1,220 | 250 | 0,60032 | 500 | 1,204 |  |  |

Решая графическим способом, получаем следующие значения мощностей:

Исходя из этого, расход топлива:

Б) Аналитический метод

Оптимальный режим находится из соотношений:

Полученные результаты распределения мощности в узлах 1, 2 и Б соответствуют допустимым диапазонам работы :

Исходя из этого, расход топлива:

### 6.7 Итоговое потокораспределение после решения «Задачи Р» и «Задачи Q»

После уточнения активных потерь в сети и нахождения откорректированного распределения активной мощности по генераторам следует найти итоговое потокораспределение активной и реактивной мощности по сети. Данные берем из аналитического метода.

Умножив матрицу потокораспределения на вектор узловых мощностей, найдем потокораспределение в сети:

Распределение реактивной мощности по ветвям найдено в пункте 6.5:

.

Результаты расчета отобразим на рисунке 6.8:



Рисунок 6.8 – Потокораспределение активной и реактивной мощности в сети

В схеме учтены зарядные емкости ЛЭП в каждом узле. Зная потокораспределение в сети, можно найти потери в ЛЭП по (6.8) и (6.9).

Расчеты сведены в таблицу 6.8.

Таблица 6.8 - Потери в сети

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Ветвь,i | Ri | Xi | Pi | Qi | dPi | dQi |
| 1 | 4,8 | 33,04 | 122,99 | 25,15 | 1,430 | 9,843 |
| 2 | 4,2 | 28,91 | 23,31 | 1,69 | 0,043 | 0,299 |
| 3 | 4,8 | 33,04 | 102,59 | 26,64 | 1,019 | 7,017 |
| 4 | 2,7 | 18,585 | 87,22 | 44,75 | 0,490 | 3,376 |
| 5 | 3,6 | 24,78 | 154,25 | 35,49 | 1,705 | 11,735 |
|  |  |  | Суммарные потери | | 4,688 | 32,270 |

Определим долю потерь мощности в процентах :

.

**6.8 Оптимизация по активной мощности**

Проведем перерасчет потокораспределения в сети с учетом найденного распределения активной и реактивной мощностей по станциям для расчета электрического режима работы сети, активные и реактивные потери распределим поровну по концам линий.

Тогда потокораспределение в сети:

Зная потокораспределение в сети, можно найти потери в ЛЭП по (6.8) и (6.9). Расчеты, сведены в таблицу 6.9.

Таблица 6.9 - Потери в сети

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ветвь | Ri | Xi | Pi | Qi | dPi | dQi |
| 1 | 4,8 | 33,04 | 122,94 | 24,79 | 1,427 | 9,824 |
| 2 | 4,2 | 28,91 | 24,59 | 7,11 | 0,052 | 0,358 |
| 3 | 4,8 | 33,04 | 101,42 | 18,57 | 0,965 | 6,640 |
| 4 | 2,7 | 18,585 | 86,97 | 43,06 | 0,481 | 3,309 |
| 5 | 3,6 | 24,78 | 158,08 | 61,89 | 1,961 | 13,500 |
|  |  |  | Суммарные потери | | 4,65 | 32,25 |

Определим долю потерь мощности в процентах :

Как видно, потери в сети практически не изменились, а только откорректировались на сотые доли процента. Тем самым выполняется распределение мощности по сети, и разнесение потерь можно признать верным.

Это значит, что распределение активной и реактивной мощности было выполнено оптимально после решения задачи Р, Q и уточнения потерь в сети, а так же их разноса по концам ЛЭП.

Расчет напряжений в узлах с учетом продольной и поперечной составляющей:

(6.12)

(6.13)

где: – потоки активной и реактивной мощности по ветви;

, – активной и реактивное сопротивление ветви;

U – напряжение сети.

- в узле 4:

- в узле 1:

- в узле 3:

- в узле 2:

На рисунке 6.9 показано потокораспределение при оптимальных значениях генерирующих мощностей.

Значение потерь в линиях не нанесено, поскольку они разносятся по узлам аналогично зарядной мощности в линиях.



Рисунок 6.9 – Потокораспределение в сети при значении оптимальных мощностей станций

### 6.9 Результаты оптимизации

Для наглядности и простоты оценки полученных результатов – сведем все полученные данные в таблицу 6.10.

Таблица 6.10 – Результаты оптимизации

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Метод расчета | Р1, МВт | Р2, МВт | РБ, МВт | РГƩ, МВт | ВƩ, т.у.т. |
| Графический метод по равенству ОПРТ | 250 | 210 | 150 | 610 | 260,71 |
| Аналитический метод по равенству ОПРТ | 235 | 208 | 167 | 610 | 260,26 |
| Графический метод с учётом поправочных коэффициентов | 230 | 210 | 145 | 585 | 246,36 |
| Аналитический метод с учётом поправочных коэффициентов | 224,59 | 202,99 | 156,86 | 584,44 | 245,716 |

Суммарная мощность генерации для п/п 1 и 2 принята с учетом суммарной нагрузки и потерь ΔP = 5%, а для п/п 3-5 – с учетом суммарной нагрузки и реальных потерь в сети ΔP = 0,79%, полученных в результате оптимизации в пункте 6.5.

Таким образом, можно сделать вывод о том, аналитический метод является более точным, чем графический. Расчеты небольших схем можно проводить по данным методам в учебных целях. Расчет более сложных схем представляет собой весьма трудоемкую задачу, связанную с большим объемом вычислений и необходимостью учета различных ограничений (например, ограничение по передаваемой активной мощности по линии).

Размещено на Allbest.ru