

Математическая модель расчета времени работы синхронных генераторов в режиме синхронного компенсатора

А. А. Степанова, В. М. Пейзель, А. В. Сейдалиева

Северо-Кавказский федеральный университет

Ставрополь, Россия

astepanova@ncfu.ru

Аннотация. В докладе рассматривается алгоритм оценки и планирования времени работы генераторов в режиме синхронного компенсатора

Ключевые слова: генератор, синхронный компенсатор, планирование, плавка гололеда

I. АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ

В ряде энергосистем при возникновении дефицита реактивной мощности, который зачастую имеет сезонный характер, существует практика привлечения генераторов к работе в режиме синхронного компенсатора без производства электрической энергии. В этой связи решение задачи оценки и планирования времени работы в режиме синхронного компенсатора (РПСК) генераторов, участвующих в оказании таких услуг направлено на обеспечение качества управления режимами.

Время работы генератора в режиме синхронного компенсатора зависит от продолжительности существования электроэнергетического режима, в котором возникла необходимость такого режима работы, а сам режим определяется неблагоприятным сочетанием выведенного из схемы электротехнического и генерирующего (энергетического) оборудования [1].

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Определение вероятности отключения (вывода из схемы) ЛЭП, электротехнического и энергетического оборудования базируется на утвержденных в установленном порядке годовых и месячных графиках ремонтов ЛЭП, электротехнического и энергетического оборудования, а также оценке вероятности незапланированных (аварийных) отключений оборудования в планируемый период. При оценке незапланированных отключений ЛЭП учитывается также среднестатистическое значение вероятности проведения запланированной в течение суток плавки гололеда, которое определяется на основании данных статистики по проведенным на ней плавкам.

Таким образом, задача прогноза времени работы генератора в режиме синхронного компенсатора представляет собой задачу, которая традиционно решается с использованием математического аппарата, относящегося к группе методов математической статистики.

III. ПРЕДЛАГАЕМЫЙ АЛГОРИТМ

В статье предложен алгоритм, реализующий методику расчета прогнозного значения времени отключения (вывода из схемы) ЛЭП, электротехнического и энергетического оборудования, предназначенный для планирования времени работы в режиме синхронного

компенсатора (РПСК) генераторов, участвующих в оказании таких услуг.

На первом этапе выполняется расчет длительности каждого из характерных периодов суточного графика потребления активной мощности, для чего предлагается воспользоваться методом частотного анализа, который представляет собой одну из процедур разведочного анализа.

Для проведения частотного анализа суточного графика используются данные почасового потребления активной мощности в течение года для выделения диапазонов, соответствующие каждому из характерных периодов.

В предложенном алгоритме на основе анализа суточного графика, выделены 3 группировки, которые определены по уровню потребления активной мощности и имеют равные интервалы; группировка выполняется способом первоначального формирования группы с последующим вычислением средних точек.

Вероятность отключения (вывода из схемы) ЛЭП, определяется в соответствии с:

- утвержденными в установленном порядке годовыми и месячными графиками ремонтов ЛЭП и электротехнического оборудования;
- статистическими данными проведенных плавок гололеда ВЛ, при этом вероятность вычисляется на основании среднестатистических значений.

Для определения времени привлечения генераторов к работе в режиме синхронного компенсатора необходимо выполнить ежемесячное планирование. Предлагаемый алгоритм включает следующие шаги для каждого месяца года, на который осуществляется планирование:

1. На основе расчетов электрических режимов определяется множество I ЛЭП, отключение (в ремонт или для проведения плавки гололеда) которых потребует привлечения генераторов к работе в режиме синхронного компенсатора. Данные расчеты режимов проводятся для каждого характерного периода каждого месяца.

2. На основе анализа результатов проведенных расчетов электрических режимов для каждой ЛЭП _{i} определяется множество J генераторов G_j , требующихся для привлечения к работе в режиме синхронного компенсатора. Составляется таблица необходимости привлечения j -го генератора при отключении i -й линии в каждый характерный период суток: ночной провал (НП), дневной максимум (ДМ), вечерний максимум (ВМ). Элементы таблицы a_{ij} формируются по следующему правилу:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если требуется привлечение СГ в режиме СК в данный} \\ & \text{характерный период} \\ 0, & \text{если не требуется привлечение СГ в режиме СК в данный} \\ & \text{характерный период} \end{cases}$$

Вид таблицы для i-й ЛЭП приведен на рис. 1.

Г	НП	ДМ	ВМ
Г _{i,1}	a _{i,1} ^{НП}	a _{i,1} ^{ДМ}	a _{i,1} ^{ВМ}
...
Г _{i,j}	a _{i,j} ^{НП}	a _{i,j} ^{ДМ}	a _{i,j} ^{ВМ}
...
Г _{i,j}	a _{i,j} ^{НП}	a _{i,j} ^{ДМ}	a _{i,j} ^{ВМ}

Рис. 1. Вид таблицы для ЛЭП_i

3. Вычисляется время работы каждого генератора Г_j при проведении ремонтов ЛЭП. При этом необходимо учесть длительность каждого из характерных периодов, которую в часах можно определить как $24 \cdot p(a)^{XП}$. В этом случае вычисление времени работы каждого генератора Г_j при проведении ремонтных работ в течение заданного месяца определяется по формуле:

$$TГ_j^P = \sum_{i=1}^I \left[24 \cdot Kc(p(a)^{НП} a_{ij}^{НП} + p(a)^{ДМ} a_{ij}^{ДМ} + p(a)^{ВМ} a_{ij}^{ВМ}) - \right. \\ \left. - Kо(n^{НП} a_{ij}^{НП} + n^{ДМ} a_{ij}^{ДМ} + n^{ВМ} a_{ij}^{ВМ}) \right]$$

где Кс – количество суток времени ремонта ЛЭП; Ко – принимается равным Кс, если ремонт выполняется с ежедневным вводом на ночь (день), иначе принимается равным 1; n^{НП}, n^{ДМ}, n^{ВМ} – количество часов соответствующего характерного периода, не попадающего в срок ремонта.

Попадание времени ремонта ЛЭП в определенный характерный интервал суток определяется для каждого ремонта на основании месячных графиков ремонта и длительности характерного периода в каждом месяце, полученном при проведении частотного анализа.

4. Для каждой ЛЭП_i из множества I определяется время t_{ПГ_i}, в течение которого данная ЛЭП будет отключена для проведения плавки гололеда на ней (табл. 1).

ТАБЛИЦА 1 ВРЕМЯ ОТКЛЮЧЕНИЯ ЛЭП

ЛЭП	t _{ПГ_i} , час
ЛЭП ₁	t _{ПГ₁}
...	...
ЛЭП _i	t _{ПГ_i}
...	...
ЛЭП _i	t _{ПГ_i}

Время, в течение которого ЛЭП будет отключена для проведения плавки гололеда, определяется на основании статистических данных о среднем количестве плавки гололеда на данной ЛЭП в данном месяце за прошлые года (X, шт), а также продолжительности проведения плавки гололеда на данной ЛЭП (Y, часов):

$$t_{ПГ} = X \cdot Y$$

5. Поскольку попадание времени выполнения плавки гололеда в определенный характерный интервал суток можно считать равномерно распределенной случайной величиной, то вероятность p(a)^{ХП} этого события определяется длительностью интервала (частотой попадания) характерного периода, определенного для каждого месяца с помощью частотного анализа. Таким образом, для вычисления времени работы

каждого генератора Г_j при плавке гололеда в течение заданного месяца определяется по формуле:

$$TГ_j^{ПГ} = \sum_{i=1}^I t_{ПГ_i} (p(a)^{НП} a_{ij}^{НП} + p(a)^{ДМ} a_{ij}^{ДМ} + p(a)^{ВМ} a_{ij}^{ВМ})$$

6. Время работы каждого генератора Г_j в режиме СК определяется как сумма времени привлечения генератора к работе в режиме синхронного компенсатора для ремонтных работ и для плавки гололеда на ЛЭП:

$$TГ_j = TГ_j^{ПГ} + TГ_j^P$$

IV. ПРИМЕР РАСЧЕТА

Рассмотрим расчет числа часов привлечения генераторов к работе в режиме синхронного компенсатора на примере гидроэлектростанции, работающей в гипотетической энергосистеме для одного из месяцев (январь). Упрощенная схема энергосистемы приведена на рис. 2.

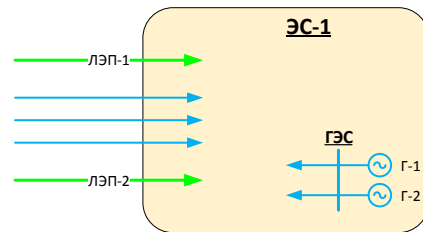


Рис. 2. Упрощенная схема энергосистемы

Рассматриваемая гидроэлектростанция имеет два генератора Г-1 и Г-2. В зимний период в связи с отсутствием гидроресурсов генераторы данной электростанции находятся в резерве (не вырабатывают активную мощность), однако могут привлекаться к работе в режиме синхронного компенсатора.

Допустим, в ходе подготовки исходных данных для расчетов получены следующие результаты.

Согласно графику ремонтов, в январе планируется проведение ремонта ЛЭП-1 в течение 5 дней с 8:00 11.01 по 17:00 15.01.

Анализ статистических данных о проведенных ранее плавках гололеда показывает, что в январе проводится:

- на ЛЭП-1 – в среднем 2 плавки гололеда;
- на ЛЭП-2 – в среднем 3 плавки гололеда.

Продолжительность отключения ЛЭП для проведения плавки гололеда с учетом времени подготовки схемы плавки гололеда и необходимых переключений для ЛЭП-1 составляет 5 часов, для ЛЭП-2 – 4 часа.

Частотный анализ графика потребления в январе выявил следующие характерные периоды:

- ночной провал: 29%, с 0 до 6 часов, с 23 до 24 часов;
- дневной максимум: 58%, с 6 до 20 часов;
- вечерний максимум: 13% с 20 до 23 часов.

Расчеты электрических режимов показали, что в январе привлечение генераторов ГЭС потребуются в следующих режимах:

1. При отключении (в ремонт или для проведения плавки гололеда) ЛЭП-1 для недопущения снижения

напряжения в ЭС-1 в послеаварийном режиме отключения ЛЭП-2:

- в дневной максимум – одним из генераторов Г-1 или Г-2 ГЭС;
- в вечерний максимум – обоими генераторами Г-1 и Г-2 ГЭС.

2. При отключении (в ремонт или для проведения плавки гололеда) ЛЭП-2 для недопущения снижения напряжения в ЭС-1 в послеаварийном режиме отключения ЛЭП-1:

- в дневной максимум – одним из генераторов Г-1 или Г-2 ГЭС;
- в вечерний максимум – обоими генераторами Г-1 и Г-2 ГЭС.

Привлечение генераторов ГЭС к работе в режиме синхронного компенсатора в период ночного провала нагрузки не потребуется ни в одном из режимов.

В соответствии с полученными данными заполним таблицу, приведенную в п.2 предложенной методики (табл. 2):

ТАБЛИЦА II ТАБЛИЦА НЕОБХОДИМОСТИ ПРИВЛЕЧЕНИЯ ГЕНЕРАТОРОВ ПРИ ОТКЛЮЧЕНИИ ЛИНИИ

Г	НП	ДМ	ВМ
Г-1	0	1	1
Г-2	0	0	1

Вычислим время работы каждого генератора ГЭС при проведении ремонтов ЛЭП с учетом данных, полученных по результатам проведения частотного анализа графика потребления. Так как в январе планируется ремонт только одной ЛЭП-1, время работы генераторов Г₁ и Г₂:

$$TГ_1^P = 24 \cdot 5 \cdot (0,29 \cdot 0 + 0,58 \cdot 1 + 0,13 \cdot 1) - 1 \cdot (7 \cdot 0 + 5 \cdot 1 + 3 \cdot 1) = 77,2$$

$$TГ_2^P = 24 \cdot 5 \cdot (0,29 \cdot 0 + 0,58 \cdot 0 + 0,13 \cdot 1) - 1 \cdot (7 \cdot 0 + 5 \cdot 0 + 3 \cdot 1) = 12,6$$

В расчете учтено, что в период ремонта ЛЭП-1 не попало следующее количество часов характерных периодов:

- НП – с 0 до 6 часов 11.01 и с 23 до 24 часов 15.01, $n^{III} = 7$;

- ДМ – с 6 до 8 часов 11.01 и с 17 до 20 часов 15.01, $n^{DM} = 5$

- ВМ – с 20 до 23 часов 15.01, $n^{BM} = 3$.

Время, в течение которого ЛЭП будут отключены для проведения плавки гололеда, согласно принятым исходным данным составляет (таблица 3):

ТАБЛИЦА III ВРЕМЯ ОТКЛЮЧЕНИЯ ЛЭП

ЛЭП	тПГ, час
ЛЭП-1	5
ЛЭП-2	4

С учетом статистических данных о среднем количестве плавки гололеда в январе время, в течение которого ЛЭП будут отключены для проведения плавки гололеда, составит, (час):

$$t_{ПГ1} = 10,$$

$$t_{ПГ2} = 12.$$

Время работы каждого генераторов ГЭС при проведении плавки гололеда в течение заданного месяца определим по формуле, приведенной в п.5 предлагаемой методики:

$$TГ_1^{III} = 10 \cdot (0,29 \cdot 0 + 0,58 \cdot 1 + 0,13 \cdot 1) + 12 \cdot (0,29 \cdot 0 + 0,58 \cdot 1 + 0,13 \cdot 1) = 15,62$$

$$TГ_2^{III} = 10 \cdot (0,29 \cdot 0 + 0,58 \cdot 0 + 0,13 \cdot 1) + 12 \cdot (0,29 \cdot 0 + 0,58 \cdot 0 + 0,13 \cdot 1) = 2,86$$

Таким образом время привлечения генераторов ГЭС к работе в режиме синхронного компенсатора составит:

$$TГ_1 = TГ_1^{III} + TГ_1^P = 77,2 + 15,52 = 92,72 \approx 93 \text{ часа}$$

$$TГ_2 = TГ_2^{III} + TГ_2^P = 12,6 + 2,86 = 15,46 \approx 15,5 \text{ часов}$$

V. ВЫВОДЫ

Предложенный алгоритм оценки и планирования времени работы генераторов в режиме синхронного компенсатора позволяет получить достоверный прогноз режимов работы генерирующего оборудования электрических станций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Калентиюнок Е.В., Прокопенко В.Г., Федин В.Т. Оперативное управление в энергосистемах: учебное пособие. Минск: Высшэйшая школа, 2007. 351 с. ISBN 978-985-06-1260-1.