

ДОПУСТИМО ЛИ В РАСЧЕТАХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ПРЕНЕБРЕГАТЬ ИЗМЕНЕНИЕМ МОЩНОСТИ НАГРУЗОК ПРИ ОТКЛОНЕНИЯХ НАПРЯЖЕНИЙ НА ПОТРЕБИТЕЛЬ- СКИХ ПОДСТАНЦИЯХ?

В. К. ЩЕРБАКОВ и Г. А. НАЗАРЕНКОВА

1. Расчёты электрических сетей принято производить в предположении постоянства потребляемой мощности каждой нагрузкой сети, независимо от изменения напряжения в сети. Нагрузки задаются активной мощностью и коэффициентом мощности при номинальном напряжении сети (и, следовательно, нагрузок). В процессе расчётов различных режимов работы сети, таким образом, нагрузки учитываются токами, величина которых меняется вместе с изменением напряжения сети и равна

$$I_{нагр} = I_a - j I_r = \frac{P_{нагр} - j Q_{нагр}}{\sqrt{3} \hat{U}_{сети}}.$$

В действительности мощность нагрузок, питаемых от сети, изменяется вместе с изменением напряжения в сети. На фиг. 1 приведены широко известные типовые статические характеристики комплексной нагрузки крупных электрических систем, включая потери мощности в трансформаторах и линиях, составленные „теплоэлектропроектом“. Характеристики дают изменение мощности комплексной нагрузки, подключённой к 6 кв сети. Комплексная нагрузка включает:

крупных асинхронных двигателей	15%,
мелких асинхронных двигателей	35%,
крупных синхронных двигателей	9%,
печей и ртутных выпрямителей	11%,
освещения и бытовой нагрузки	22%,
потери	8%.

Кривые фиг. 1 показывают, что при отклонении напряжения в сети от номинального значения в сторону повышения на 5% активная мощность нагрузки возрастает на 3%, а реактивная на — 13%.

При понижении напряжения на 10% активная мощность нагрузки снижается на 6%, а реактивная—на 17%.

Ошибку при подсчётах потери напряжения в высоковольтных сетях, которую обычно делают, допуская неизменной мощность нагрузки, можно оценить ориентировочно из следующих соображений. В формуле подсчёта потери напряжения, приравненной продольной составляющей падения напряжения,

$$\Delta U = \frac{PR + Q \cdot X}{U},$$

можно положить отношение $R = 3$ и отношение $\frac{Q}{P} = 0,75$. Тогда

Таблица 1

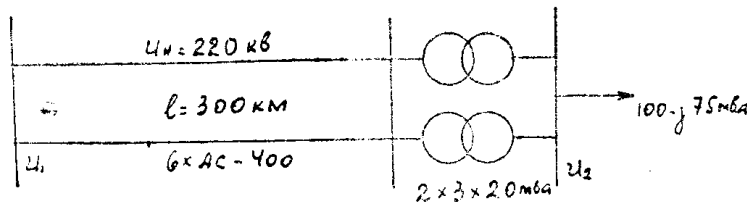
Заданное напряжение U_1 (кв)	110	118	121
Расчётное напряжение U_2 (кв) при $S_{нагр} = \text{const}$	4,76	5,32	5,55
Расчётное напряжение U_2 (кв) при $S_{нагр} = f(U)$	5,17	5,59	5,77
Ошибка в подсчёте напряжения U_2 (%)	7,9	4,85	3,82
Ошибка в подсчёте потери напряжения (%)	33	22,4	17,0

Из табл. 1 следует, что ошибка в подсчётах напряжений в особо неблагоприятном случае ($U_1 = 110$ кв) может достигать почти 8%, а в подсчётах потери напряжения — 33%.

Естественно, величина ошибки снижается и может быть равна нулю, когда расчётное напряжение приближается к истинному значению.

Ещё один пример. На фиг. 3 приведена схема 220-киловольтной электропередачи, которую рассчитывать по II-образной схеме замещения без поправочных коэффициентов для постоянных схемы считается недопустимым.

Однако оказывается, что пренебрежение поправочными коэффициентами вносит ошибку при подсчёте напряжений лишь в 0,76%, в то время как



Фиг. 3

неучёт изменения мощности нагрузки приводит к ошибке в 3,64%. В этом же случае потеря напряжения будет подсчитываться с ошибкой в 17%.

Ток начала или конца линии должен быть известным, заданным, что возможно лишь при условии заданного напряжения соответствующего конца линии. Если это заданное напряжение равно номинальному, то ток определяется просто как

$$I = \frac{P - jQ}{\sqrt{3} U_{ном}},$$

где P и Q — предполагаемые нагрузки при номинальных условиях. В других случаях необходимо мощность нагрузки брать по статическим характеристикам нагрузок.

3. Точные уравнения

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 &= A \dot{U}_2 + B \dot{I}_2, \\ \dot{I}_1 &= C \dot{U}_2 + D \dot{I}_2 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

применяемые для расчёта длинных линий, связывают токи и напряжения начала и конца линии. Если расчёт вести при заданном напряжении в конце линии, определяемом номинальным напряжением нагрузки и коэффициентом трансформации трансформаторов между линией и нагрузкой, то одно значе-

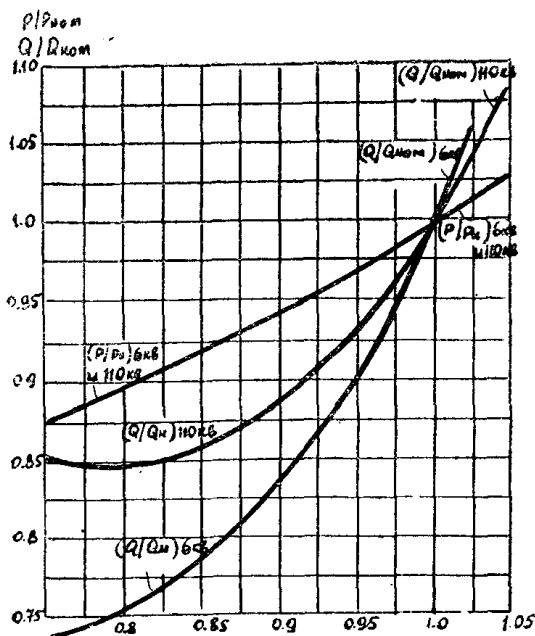
ошибка при пониженном напряжении определится примерно в 15%, а при повышенном относительно номинального — в 9%. В последнем случае, то есть при повышенном напряжении, было принято отклонение напряжения от номинального в 5%. При отклонении напряжения в 10% ошибка, вероятно, достигнет 20%.

Особенно значительна ошибка при определении потери и падения напряжения в трансформаторе, как неизбежном элементе высоковольтной сети. Отношение реактивного и активного сопротивлений трансформаторов — $\frac{X_T}{R_m}$ для крупных и средних трансформаторов равно примерно 10.

При $Q = 0,75 P$ ошибка в определении потери напряжения выразится в 18,5%.

Часто легко мирятся со значительными неточностями в подсчётах потери напряжения в электропередачах на том основании, что это в конечном счёте мало отражается на величине напряжения в расчётных точках сети, так как неточность в подсчётах потери напряжения отразится на точности определения напряжения по концам электропередачи в отношении $\frac{\Delta U}{U}$.

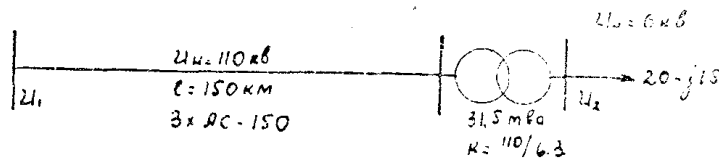
Однако при таком рассуждении упускают из вида, что при планировании и расчётах различных режимов сетей электрических систем, а также при проектировании электрических систем приходится иметь дело в ненастроенной системе с отклонениями напряжения от номинального в отдельных точках сети в 20 и более процентов. Следовательно, неточность в подсчётах потерь напряжения тоже в 20% даёт ошибку в подсчёте напряжений в 4%, что уже может совершенно исказить выводы относи-



Фиг. 1

тельно необходимых характера и величины регулирующих устройств в сети.

Кроме того, следует придавать самостоятельное значение точности подсчёта потерь и падений напряжения в сети. Правильная оценка вели-



Фиг. 2

чины уравнивающих токов и мощностей в сетях целиком зависит от точности подсчёта потерь и падений напряжений (а не напряжений).

2. В подтверждение приведём пример расчёта электропередачи по схеме фиг. 2.

Результаты расчёта даны в табл. 1 с учётом

$$S_{нагр} = f(U)$$

ние напряжения в начале линии можно подсчитать точно. Однако обычно приходится находить несколько значений напряжения конца линии, соответственно многим режимам работы линии, при неизменном или заданном напряжении начала линии. Во всех случаях можно получить практически точные результаты расчётов лишь при условии многократных пересчётов, используя статические характеристики нагрузок, или при условии введения в уравнения (1) тока, зависящего от напряжения U_2 , т. е. лишения уравнений (1) линейности. Но нельзя не считаться с тем обстоятельством, что так называемые статические характеристики нагрузки могут быть составлены лишь как усреднённые зависимости мощности нагрузки от напряжения сети.

Всё многообразие электрических двигателей и аппаратов практически невозможно учесть при составлении статических характеристик, и поэтому последние всегда будут составлены с той или иной степенью погрешности против действительности. Тем более эта погрешность может быть значительной при использовании статических характеристик „типовой нагрузки“. Следовательно, стремление к применению точных уравнений в расчётах электрических сетей во многих случаях является не целесообразным, не оправдывающим затрату большого счётного труда, которого обычно требуют расчёты с использованием точных уравнений.

Выводы

1. Отклонения напряжения на потребительских подстанциях от номинального значения связано с изменением мощности нагрузки, особенно реактивной, против заданной мощности нагрузки при номинальном напряжении. Это изменение мощности нагрузки может быть весьма значительным и существенно влияющим на величину потерь и падений напряжений в сети.

2. Расчёты высоковольтных электрических сетей при пренебрежении изменением мощности нагрузки, когда имеет место значительное отклонение напряжения от номинального значения на потребительских подстанциях, дают заметную ошибку, которую во многих случаях нельзя допустить.

3. Ошибка в результатах расчётов может быть снижена или сведена до нуля при условии многократных подсчётов с использованием статических характеристик нагрузок.

4. Многократные пересчёты для достижения необходимой точности расчётов требуют много времени и сил, и поэтому необходимо найти простые методы приближённого учёта переменности мощности нагрузки, которые вместе с тем обеспечили бы нужную точность расчётов электрических сетей.
