

В.О. САРКИСЯН

ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПЛЕКСНОЙ НАГРУЗКИ НА ПОТЕРИ МОЩНОСТИ В РАДИАЛЬНЫХ СЕТЯХ

Исследованы вопросы влияния изменения напряжения питающего (балансирующего) узла на величину потерь активной мощности в радиальных сетях при различных статических характеристиках комплексной нагрузки. Показано, что при расчетах установившихся режимов распределительных (радиальных) сетей моделирование нагрузки статическими характеристиками по напряжению повышает степень адекватности результатов расчетов реальным величинам. При этом наибольшее влияние на потери мощности в питающей линии оказывает двигательная составляющая комплексной нагрузки.

Ключевые слова: комплексная нагрузка, радиальные сети, потеря мощности, напряжение питающего узла, статические характеристики.

В условиях рыночных отношений в энергетике, когда процесс непрерывного снижения потерь электроэнергии в сетях всех уровней напряжения наряду с другими мероприятиями является востребованным, возникает необходимость более полного выявления и учета всех факторов, влияющих на величину потерь электроэнергии. К одним из таких факторов относятся характеристики различных типов нагрузок в узлах потребления [1].

Асинхронные и синхронные двигатели, осветительные и бытовые установки, электрические печи и прочие электроприемники образуют комплексную нагрузку в узлах электрической сети. Способы представления нагрузок при расчетах режимов зависят от вида сети и целей расчета. Известно, что нагрузки могут моделироваться различными способами: динамическими, статическими характеристиками, постоянными сопротивлениями и мощностями [1-3]. При расчетах установившихся режимов питающих и иногда распределительных сетей среднего напряжения нагрузка может задаваться постоянной мощностью $P_c = \text{const}$, $Q_c = \text{const}$. Задание постоянной мощности нагрузки соответствует многолетней практике эксплуатации электрических сетей и систем. Этот способ задания нагрузки является достаточным для электрических систем, полностью обеспеченных устройствами регулирования напряжения. В этих условиях при изменениях режима сети напряжение на нагрузке практически не меняется и полная мощность нагрузки остается постоянной.

В действительности у потребителей не обеспечивается поддержание постоянного напряжения. В этом случае задание постоянной мощности нагрузки потребителей приводит к ошибкам при расчетах установившихся режимов питающих сетей, в том числе при решении их оптимизационных задач. Ошибка тем больше, чем больше отличаются напряжения потребителей от номинального [2].

Задание нагрузки постоянной проводимостью или постоянным сопротивлением эквивалентно заданию статических характеристик нагрузки в виде квадратичных зависимостей от напряжения. Статические характеристики нагрузок по напряжению более полно отражают свойства нагрузки и не приводят к усложнению расчетов. Во многих случаях эти характеристики не известны, и возможно применение лишь типовых. Учет статических характеристик по напряжению оказывает существенное влияние на результаты расчета послеаварийных установившихся режимов, когда напряжение сильно отличается от номинального.

В данной работе для исследования вопроса влияния характеристики нагрузки на величину расчетных потерь электроэнергии в линии электропередачи была смоделирована радиальная электрическая сеть (рис. 1), параметры пассивных элементов которой приняты постоянными. Расчеты проведены по разработанной автором программе в среде Excel.

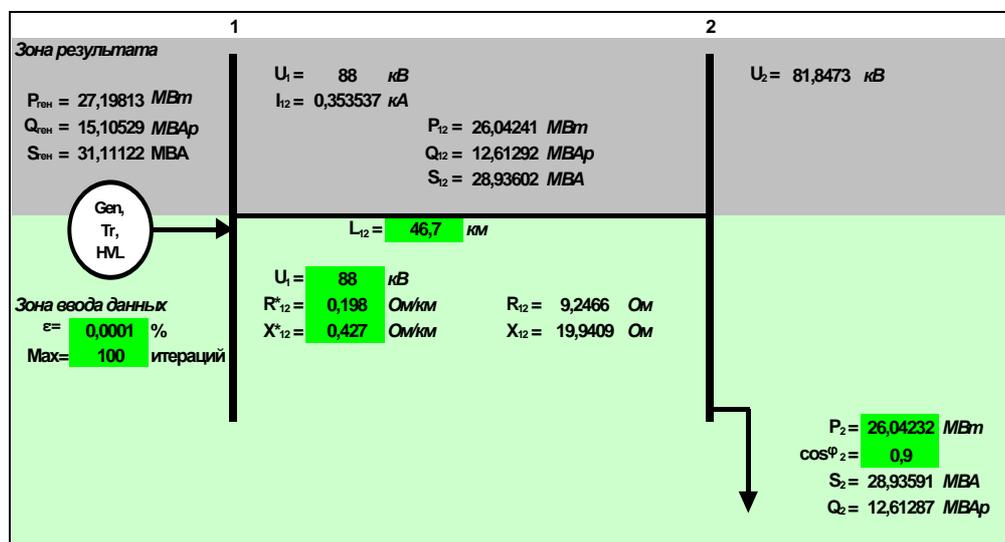


Рис. 1. Схема участка радиальной сети (“Gen/Tr/HVL” – обозначение источника питания, который может быть генератором, трансформатором или ЛЭП)

Исследования проводились на примере одноцепной ВЛ-110 кВ “Зангезур” Армянской ЭЭС с маркой провода АС-150, длина которой составляет 46,7 км. Номинальная нагрузка узла принята 35 МВт (в максимальном режиме). Выбор данной ЛЭП обусловлен тем, что ее пассивные параметры достаточно характерны для сети 110 кВ Армянской энергосистемы.

Потери в данной ВЛ рассчитаны программой для следующих типов нагрузок P_c (во всех расчетах $\cos \varphi = 0,9 = \text{const}$):

1. $P_c(U) = \text{const}$ – потребляемая активная мощность нагрузки неизменна и не зависит от величины напряжения в узле питания. Обычно принято считать, что такой характеристикой обладает двигательная нагрузка.

2. $P_c(U) = P_{\text{ном}} \left(\frac{U}{U_{\text{ном}}} \right)^{1,6}$ – потребляемая активная мощность нагрузки зависит от напряжения в степени 1,6. Такой зависимостью характеризуются осветительные установки.
3. $P_c(U) = P_{\text{ном}} \left(\frac{U}{U_{\text{ном}}} \right)^2$ – потребляемая активная мощность нагрузки находится в квадратичной зависимости от напряжения. Такой характеристикой обладает печная нагрузка.
4. $P_c(U) = P_{\text{ном}} \left(\frac{U}{U_{\text{ном}}} \right)$ – потребляемая активная мощность нагрузки прямо пропорциональна величине напряжения. Эта характеристика смоделирована в программе только для проведения, в случае необходимости, дополнительных сравнительных исследований и в данной работе не рассматривается.

Результаты расчетов потерь активной мощности в питающей ЛЭП от изменения напряжения в узле питания (узел 1 на рис.1) в пределах $U^* = \frac{U}{U_{\text{ном}}} = 0,8 \dots 1,2$ (отн. ед.) обобщены графически на рис. 2 - 4.

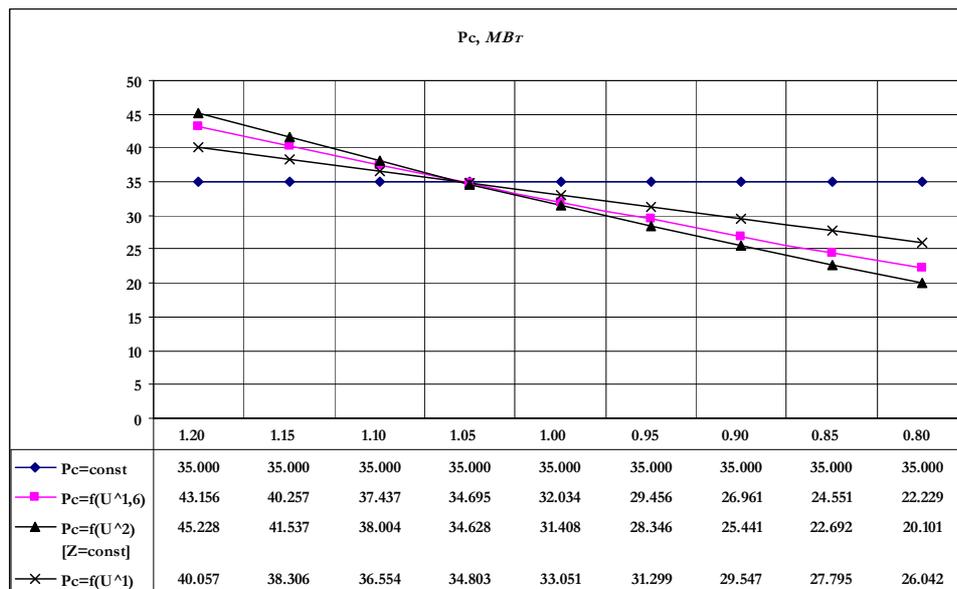


Рис. 2. Зависимость потребляемой мощности (МВт) от изменения величины напряжения (отн. ед.) в узле питания

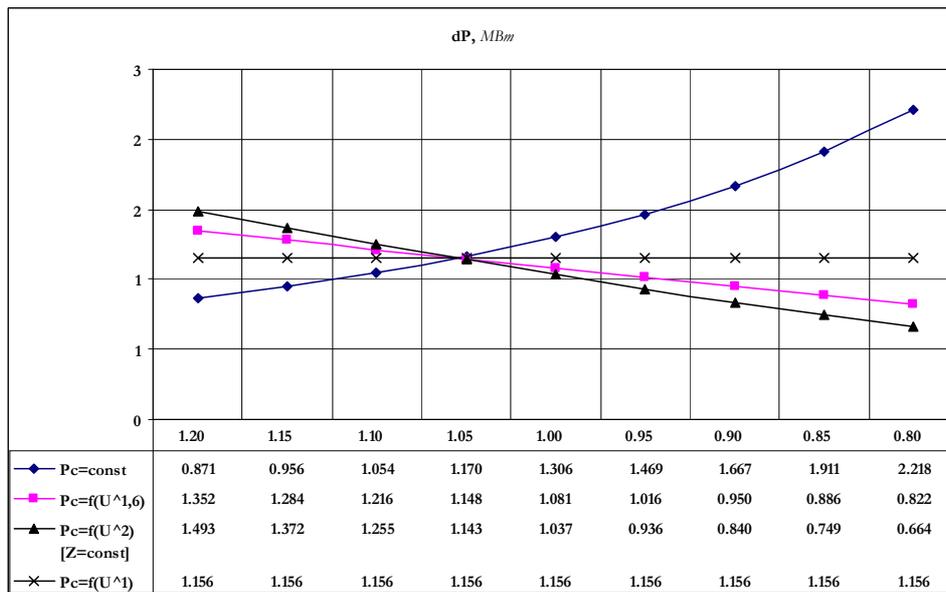


Рис. 3. Зависимость потерь активной мощности в линии (МВт) от изменения величины напряжения (отн. ед.)

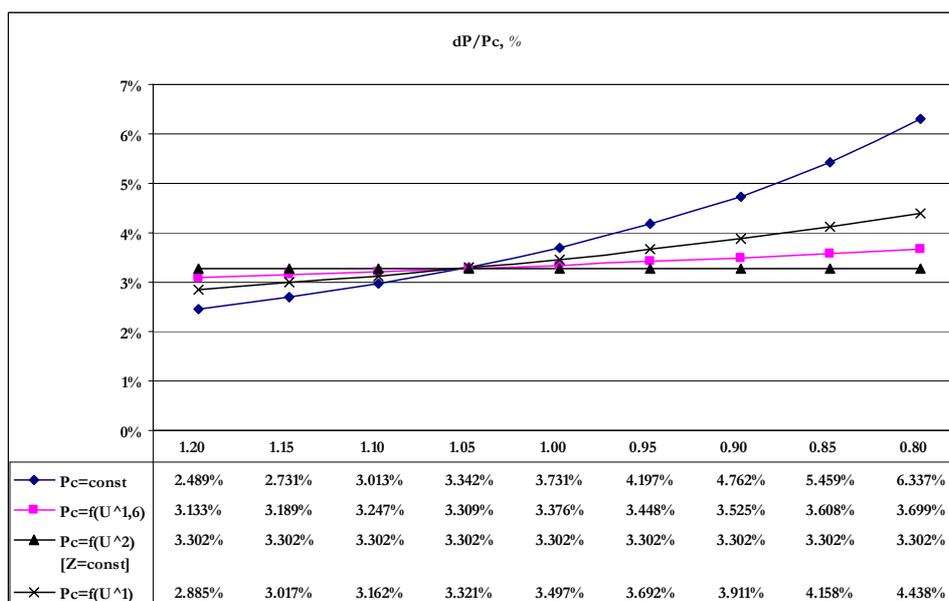


Рис. 4. Зависимость потерь активной мощности в линии (%), приведенной к мощности потребления нагрузочного узла, от изменения величины напряжения (отн. ед.)

Исследования показывают, что учет статических характеристик нагрузки по напряжению приводит к коррекции расчетных величин потерь мощности (электроэнергии) в радиальных сетях (для рассмотренного примера – в пределах $(-3,0 \dots +0,8)\%$ от потребляемой мощности).

При росте напряжения относительная величина потерь, приведенная к потребляемой мощности в узле, для всех типов нагрузки снижается, за исключением нагрузки с характеристикой 1-го типа ($P_c(U) \sim U^2$ – печная), которая остается неизменной. При этом снижение потерь наиболее заметно происходит для двигательной нагрузки ($P_c(U) = \text{const}$).

В то же время растет абсолютная величина потребляемой мощности (энергии) для всех типов нагрузок, за исключением двигательной. Для 2-го ($P_c(U) \sim U^2$) и 3-го ($P_c(U) \sim U^2$) типов нагрузок растут также абсолютные значения потерь электроэнергии в ВЛ, а для нагрузки типа $P_c(U) = \text{const}$ наблюдается их снижение.

В связи с этим приходится констатировать, что в узлах энергосистемы с преобладанием печной и осветительной нагрузок рост напряжения приводит к увеличению абсолютных значений как потребляемой мощности, так и потерь в питающих ЛЭП, что, в конечном счете, приводит к необходимости большей выработки электроэнергии на тепловых станциях (из-за чего ухудшаются также экологические показатели) и, как следствие, к увеличению потребности в импортируемых энергоносителях. Это, в свою очередь, снижает уровень энергетической безопасности страны с одной стороны и является тормозящим фактором энергосбережения – с другой. Компромиссным (в некоторой степени сбалансированным) решением такой проблемы, на первый взгляд, может явиться обеспечение режимных параметров сети, возможно близких к номинальным.

Выявление степени воздействия составляющих комплексной нагрузки узла на потери электроэнергии в питающей линии проведено на основе теории планирования экспериментов [4]. При этом нагрузка была представлена суммой трех составляющих с некоторыми долевыми коэффициентами А, В и С:

$$\begin{cases} P_c(U) = \left[A + B \cdot \left(\frac{U}{U_{\text{ном}}} \right)^{1,6} + C \cdot \left(\frac{U}{U_{\text{ном}}} \right)^2 \right] \cdot P_{\text{ном}} \\ A + B + C = 1, \end{cases} \quad (1)$$

где А, В, С – соответственно доля двигательной, осветительной, печной нагрузок; $P_{\text{ном}} = 35 \text{ МВт}$ – номинальная мощность нагрузки.

Функцией отклика является величина потерь активной мощности ΔP в питающей ЛЭП в зависимости от потребляемой мощности нагрузки P_c :

$$\Delta P = f(P_c). \quad (2)$$

В качестве независимых факторов приняты А и С, поскольку они являются долями составляющих, являющихся граничными по чувствительности к изменению напряжения.

Проведен полный факторный эксперимент, т.е. $2^2 = 4$ расчета, в соответствии с применяемой в теории планирования экспериментов матрицей планирования [3] (см. табл.).

Таблица

Матрица планирования факторного эксперимента

Фактор	A	C	$\Delta P, \text{ МВт}$
Максимальный уровень	0,4	0,5	
Минимальный уровень	0,2	0,2	
Расчет ¹ 1	+	+	1,1382
Расчет ¹ 2	-	+	1,0975
Расчет ¹ 3	+	-	1,1532
Расчет ¹ 4	-	-	1,1117

По данным таблицы составлено регрессионное уравнение (3) с учетом парного взаимодействия факторов A и C:

$$\Delta P = 1,125152 + 0,020589 \cdot A - 0,007297 \cdot C - 0,00020 \cdot A \cdot C. \quad (3)$$

При 1%-й дисперсии ошибки опыта, после исключения из рассмотрения незначущих факторов, окончательно получено следующее упрощенное регрессионное уравнение, адекватность которого подтверждена сравнением табличных и расчетных значений критерия Фишера:

$$\Delta P = 1,125152 + 0,020589 \cdot A. \quad (4)$$

Как следует из анализа полученных результатов и, в частности, из (4), существенное влияние на величину потерь в питающей линии от изменения напряжения оказывает доля двигательной нагрузки (порядка +1,8%). Влияние же других составляющих не превышает порядка -0,7% для печной нагрузки и +0,2% – для осветительной.

Таким образом, необходимость учета статических характеристик комплексной нагрузки (или ее отдельных составляющих) зависит от сопоставимости точности расчетов режимов радиальных сетей и величины поправок, вводимых характеристиками нагрузок.

ВЫВОДЫ

1. Моделирование нагрузки статическими характеристиками по напряжению может вносить существенную поправку в результаты расчетов потерь в радиальных сетях как в сторону увеличения этих потерь до +1%, так и в сторону их уменьшения до -3% по сравнению с нагрузкой, смоделированной типом $P_c(U) = \text{const}$.
2. Оптимизация режимов сети регулированием напряжения с целью снижения потерь мощности в них дает значительный эффект (до 2%) при наличии узлов потребления с существенным преобладанием двигательной нагрузки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Айрапетян Г.А., Гамбурян К.А., Мурадян Р.Д., Саркисян В.О.** Моделирование комплексной нагрузки с целью учета ее характеристик по частоте и напряжению/ ГЗАО “Институт энергетики”.-Ереван, 1999. – 6 с. – Библиогр.: 4 назв. – Рус. – Деп. в АрмНИИНТИ, 10.12.99, № 12–Ар00.
2. **Идельчик В.И.** Расчеты и оптимизация режимов электрических сетей и систем.–М.: Энергоатомиздат, 1988.–288 с.
3. Экспериментальные исследования режимов энергосистем / **Л.М. Горбунова, М.Г. Портной, Р.С. Рабинович** и др.; Под ред. **С.А. Савалова**.–М.: Энергоатомиздат, 1985.–448 с.
4. **Веников В.А., Веников Г.В.** Теория подобия и моделирования (применительно к задачам электроэнергетики): Учебник для вузов по спец. “Кибернетика электр. систем”. –3-е изд., перераб. и доп. –М.: Высш. шк., 1984. –439 с.

ЗАО “НИИ Энергетики”. Материал поступил в редакцию 10.06.2007.

Վ.Հ. ՍԱՐԳՍՅԱՆ

ՈՒՂԻԱԿԱՆ ՑԱՆՑԵՐՈՒՄ ՀԱՄԱԿԻՐ ԲԵՌԻ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԻ ԱԶՂԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ՀՉՈՐՈՒԹՅԱՆ ԿՈՐՄՏԻ ՎՐԱ

Ուսումնասիրված են ռադիալ ցանցերում ակտիվ հզորության կորուստների մեծության վրա սնող (հավասարակշռող) հանգույցի լարման փոփոխման ազդեցության հարցերը՝ համալիր բեռի տարբեր ստատիկ բնութագրերի դեպքում: Ցույց է տրված, որ բաշխիչ (ռադիալ) ցանցերի կայունացած ռեժիմների հաշվարկների ժամանակ բեռի մոդելավորումը ըստ լարման ստատիկ բնութագրերով բարձրացնում է հաշվարկի արդյունքների իրական մեծություններին համարժեքության աստիճանը: Ընդ որում՝ սնող գծում հզորության կորուստների վրա առավել մեծ ազդեցություն է թողնում համալիր բեռի շարժիչային բաղադրիչը:

Առանցքային բառեր. համալիր բեռ, ռադիալ ցանցեր, հզորության կորուստ, սնող հանգույցի լարում, ստատիկ բնութագրեր:

V.H. SARGSYAN

IMPACTS OF COMPLEX LOAD CHARACTERISTICS ON THE LOSSES OF POWER IN RADIAL NETWORKS

The problems of feeding (balancing) node voltage alteration impact on the magnitude of active power losses in the radial networks in the case of different static characteristics of complex loads are studied. It is shown that during the calculations of steady modes of distribution (radial) networks, modelling of the load using static characteristics for voltage raises the degree of equivalence of the calculation results using actual magnitudes. In the meanwhile the moving component of complex load has the greatest impact on the power losses in the feeding lines.

Keywords: complex load, radial networks, loss of power, voltage of feeding node, static characteristics.