

3. Веников В. Я. Теория подобия и моделирования.— М.: Высшая школа, 1976—479 с.
4. Налимов В. В., Чернова И. А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов.— М.: Наука, 1965.— 340 с.
5. Мурсанов Б. И., Черномзин И. Э. Модель трехаргетной электроэнергетической системы для исследования противоаварийной автоматики // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт.— 1970.— № 5.— С. 18—21.
6. Смирнов В. С., Дунин-Барковский И. В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений.— М.: Наука, 1965.— 512 с.

Изв. АН АрмССР (сер. ТИ), т. XL, № 5, 1987

ЭНЕРГЕТИКА

Т. С. ГИУНИ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОГО МЕСТА УСТАНОВКИ НА ДАЛЬНЕЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ УПРАВЛЯЕМЫХ КОМПЕНСАТОРОВ МЕТОДАМИ ТЕОРИИ ПЛАНИРОВАНИЯ

Экономическая целесообразность дальних линий электропередачи сверхвысокого напряжения (ДЛЭП СВН) переменного тока прежде всего определяется повышением их пропускной способности. С другой стороны, ярко выраженные волновые свойства ДЛЭП СВН могут привести к возникновению существенных перенапряжений в установившихся и переходных режимах и, следовательно, к значительному удорожанию изоляции. Увеличения предела передаваемой мощности и ограничения уровня перенапряжений можно достичь проведением ряда схемных мероприятий, связанных с компенсацией волновых параметров ДЛЭП. Применение устройств продольной емкостной компенсации позволяет уменьшить волновое сопротивление и сократить электрическую длину электропередачи [1]. Исследования показывают, что применение емкостной компенсации позволяет значительно повысить предел передаваемой мощности. Эффективным средством компенсации зарядной мощности и ограничения уровня перенапряжений на ДЛЭП СВН признано применение различного сочетания групп шунтирующих реакторов [1, 2]. Важное значение в настоящее время приобретают дальнейшее совершенствование существующих и разработка новых типов управляемых компенсирующих устройств. Так, применение реверсивных статических компенсаторов [3] позволит плавно регулировать режим их работы в широком диапазоне реактивной мощности «потребитель—источник».

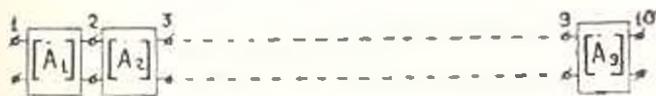
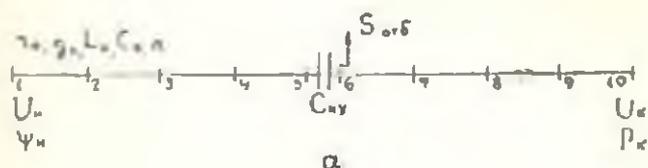
В условиях эксплуатации линий электропередачи имеет место отклонение параметра режима от рабочих и параметров устройств продольной и поперечной компенсации, как и удельных параметров самой линии от номинальных. В схемах с неуправляемыми и дискретно-регулируемыми устройствами компенсации картина распределения волны напряжения может резко изменяться, что приводит к дополнительным

затратам на средства по ограничению перенапряжений, защиты и автоматики. В схемах с управляемыми устройствами компенсации затрудняется правильный выбор диапазона регулирования и места установки компенсаторов.

Известные методы математического моделирования установившихся режимов ДЛЭП СВН не позволяют получить достаточно простых зависимостей, удобных для аналитической оценки распределения волны перенапряжения вдоль линии электропередачи при разбросе ее параметров в допустимых интервалах. Предлагается, используя методы теории планирования эксперимента, найти эти зависимости в виде регрессионных уравнений [4, 5]:

$$Y = b_0 + \sum b_i x_i + \sum b_{ij} x_i x_j + \sum b_{ii} x_i^2 \quad (1)$$

где b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii} — коэффициенты регрессии; x_i, x_j — варьируемые факторы; Y — функция отклика.



б.

Рис. Схема замещения дальней линии электропередачи 1150 кВ. а — электрическая схема ДЛЭП с УПК: $r_0 = 0,00699 \text{ Ом}$; $L_0 = 0,6465 \times 10^{-3} \text{ Гн}$; $C_0 = 0,185 \times 10^{-7} \text{ Ф}$; $g_0 = 0$; $S_{0,б} = 0$; $\alpha = 2$ (число цепей); $l_{1,2} = l_{2,3} = l_{3,4} = \dots = l_{k-1,k} = 400 \text{ км}$; б — схема замещения ДЛЭП в виде каскадно соединенных четырехполюсников.

Определение коэффициентов регрессии осуществляется путем проведения 2^к серий экспериментов при k варьируемых параметрах, значения которых выражаются в относительных единицах. В качестве математической модели ДЛЭП СВН принято каскадное соединение четырехполюсников, представляющих отдельные элементы электропередачи (рис.). Такой подход позволяет математически строго учитывать волновой характер распределения параметров электропередачи и проводить расчеты согласно «телеграфным уравнениям», принимающим для установившегося режима при синусоидальном напряжении вид [1]:

$$\begin{vmatrix} U_n \\ I_n \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} A & B \\ C & D \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} U_k \\ I_k \end{vmatrix} \quad (2)$$

где U, I — комплексные значения напряжений и токов; A, B, C, D — коэффициенты четырехполюсника, учитывающие волновой характер вторичных параметров линии; n, k — индексы начала и конца.

Исследования проводились на примере ДЛЭП СВН 1150 кВ переменного тока протяженностью 3200 км при мощности нагрузки $P_k = 0,5P_{\text{натур}}$. В качестве независимых переменных, изменяющихся в заданных интервалах варьирования, рассматривались: x_1 — напряжение в начале линии электропередачи; $U_n = (1150 \pm 115) \text{ кВ}$; x_2 — напряжение в конце линии электропередачи; $U_k = (1150 \pm 60) \text{ кВ}$; x_3 — потребляемая нагрузкой мощность $P_k = (7000 \pm 350) \text{ МВт}$; x_4 — величина емкости устройства продольной емкостной компенсации $C_{\text{кв}} = (2,45 \pm 0,25) 10^{-5} \text{ Ф}$, определенная по условию 30% компенсации индуктивности ДЛЭП.

Согласно методам теории планирования осуществлена полуреплика типа 2^{4-1} при принятом генерирующем соотношении $x_i = x_1 x_2$ и соответствующей матрице планирования экспериментов. Серия математических экспериментов позволила определить коэффициенты регрессионного уравнения. После оценки значимости этих коэффициентов по величине доверительного интервала, при принятой погрешности расчета 1% и критерии Стьюдента 3,499, уравнения регрессии могут быть записаны в матричном виде:

$$\begin{matrix} U_2 \\ U_3 \\ U_4 \\ U_5 \\ U_6 \\ U_7 \\ U_8 \\ U_9 \end{matrix} = \begin{matrix} 927,6 & -30,4 & 51,7 & 0 & 24,5 & 0 & 0 & 0 \\ 719 & -90,1 & 37,7 & 14,2 & 37,1 & 0 & 0 & 0 \\ 737,8 & -23,6 & -16,2 & 12,6 & -16,4 & -16,6 & 0 & 0 \\ 940,9 & 85,5 & -44,7 & 13,7 & 56 & 0 & 0 & 0 \\ 1194,9 & -147,9 & 76,9 & 25,4 & -50,4 & 0 & 0 & 0 \\ 792,5 & -108,8 & 29,4 & 34,3 & -35,9 & -13,6 & 0 & 0 \\ 472,3 & 48,5 & 0 & 6,4 & 30 & -32,9 & 25,9 & -27 \\ 739,9 & 68,1 & 0 & 0 & 23,4 & 0 & 0 & 0 \end{matrix} \times \begin{matrix} 1 \\ x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_1 x_2 \\ x_2 x_3 \\ x_2 x_4 \end{matrix} \quad (3)$$

Адекватность полученной модели экспериментальным данным проверялась с помощью критерия Фишера [6]. Полученное матричное выражение (3) иллюстрирует характер распределения волны напряжения вдоль линии электропередачи в зависимости от величины варьируемых параметров. Определение предельных значений напряжения в узлах ДЛЭП не представляет особых трудностей: результаты этой процедуры приведены в таблице.

Аналогичные результаты могут быть получены при применении известных методов оптимизации для предельных минимальных значений.

Анализ регрессионных уравнений позволяет выявить узлы установки управляемых компенсаторов, где $U \ll U_{\text{ном}}$ или $U \gg U_{\text{ном}}$. Пара-

метры управляемых компенсаторов, устанавливаемых в этих узлах, выбираются по предельным значениям напряжений в них, а именно для узлов 5 и 6: $Q_{\min} = -2002,4 \text{ MVar}$ при $U_{\min} = 740,9 \text{ кВ}$; $Q_{\max} = 13838,05 \text{ MVar}$ при $U_{\max} = 1495 \text{ кВ}$.

Таблица

Предельные значения напряжений в узлах

	№ узла	Предельные значения	Значения варьируемых параметров			
			$U_1, \text{ кВ}$	$U_2, \text{ кВ}$	$U_3, \text{ кВ}$	$P_2, \text{ МВт}$
Максимум	2	1034,2	1090	1265	7000	2,7
	3	892,7	1090	1265	7350	2,7
	4	790,7	1090	1035	7350	2,45
	5	1140	1210	1035	7350	2,45
	6	1495	1090	1265	7350	2,45
	7	1014,6	1090	1265	7350	2,45
	8	632,5	1210	1035	6650	2,7
	9	831,4	1210	1150	7000	2,7

АрмПНЭ

10 X 1965

Տ. Ս. ԳՆՈՒՄ

ՀՆՈՒՎՈՐ ԷԼԵԿՏՐԱԶՎՈՐՄԱՆ ԳԾԻ ՎՐԱ ՂԵԿԱՎԱՐՎՈՂ ԱԶԳԱՋՆԹԻԶՆԵՐԻ ԿԵՐԱԿԱՍՆԵՐԻ ՏԵՂԱԿՐՄԱՆ ՈՐՈՇՈՒՄԸ ՊԼԱՆԱՎՈՐՄԱՆ ՏԵՍՈՒԹՅԱՆ ՄԵԹՈԴՆԵՐՈՎ

Ա մ փ ո փ ո ս մ

Առաջարկվում է գերբարձր՝ 1150 կՎ լարման 3200 կՎ Երկարությամբ էլեկտրահղորդման գծի վրա դարձափոխային ստատիկ ազդակերծիչների դերադասելի տեղադրման մեթոդ: Այն հաշվի է առնում ինչպես գծի ծայրերի, այնպես էլ Երկայնական ունակային ազդակերծիչների պարամետրերի փոփոխությունը:

ЛИТЕРАТУРА

1. Венков В. А. Дальние электропередачи.— М.: Госэнергоиздат, 1960.— 312 с.
2. Адоңц Г. Т., Арутюнян С. Г. К расчету установившегося режима компенсации емкостной линии электропередачи // Электричество — 1972. — № 2. — С. 15—18.
3. Азарев Д. И., Белоусов И. В. Дальняя электропередача с резервными статическими компенсаторами // Электрические станции — 1980. — № 10. — С. 45—49.
4. Венков В. А. Теория подобия и моделирование применительно к задачам электроэнергетики.— М.: Высшая школа, 1976.— 480 с.
5. Наллимов В. В., Чернова Н. А. Статистические методы планирования экспериментальных исследований.— М.: Наука, 1976.— 340 с.
6. Смирнов Н. В., Думкин-Барковский И. В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений.— М.: Наука, 1965.— 511 с.