

3) составляем матрицу проводимостей ветвей  $g_b$  как диагональную. При этом сопротивления потребителей  $R_n$  и  $X_n$  определяем по формулам:

$$R_n = \frac{U_{\text{ном}}^2}{P_{\text{ном}}}; X_n = \frac{U_{\text{ном}}^2}{Q_{\text{ном}}}, \quad (1)$$

где  $U_{\text{ном}}$  – номинальное напряжение потребителя;  $P_{\text{ном}}$  – номинальная активная мощность потребителя;  $Q_{\text{ном}}$  – номинальная реактивная мощность потребителя;

4) составляем векторную матрицу источников ЭДС ветвей  $E$ .

5) выполняем расчет матрицы суммы проводимостей ветвей  $G$ :

$$G = A \cdot g_b \cdot A^T; \quad (2)$$

6) производим расчет матрицы узловых потенциалов  $\Phi$ :

$$\Phi = G^{-1} \cdot (-A) \cdot g_b \cdot E; \quad (3)$$

7) по разнице узловых потенциалов, находим значение напряжения на потребителе.

$$U_{na} = |\Phi_7 - \Phi_{10}| = 218,861 \text{ В}, U_{nb} = |\Phi_8 - \Phi_{10}| = 221,04 \text{ В}, U_{nc} = |\Phi_7 - \Phi_{10}| = 225,157 \text{ В}.$$

Как видно из полученных значений, на самой загруженной фазе у потребителя самое низкое значение напряжения.

Разработанный в среде Mathcad алгоритм может быть использован в дальнейшем для тестирования программ по расчету несимметричных режимов трехфазных электрических сетей. Алгоритм является универсальным и позволяет выполнять расчеты для схем с большим количеством потребителей.

#### Л и т е р а т у р а

1. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники / Л. А. Бессонов. – М. : Высш. шк., 1996. – 638 с.

### **ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И РЕЖИМНЫЕ ПАРАМЕТРЫ КОМПАКТНЫХ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ СЕТОЧНОГО ТИПА**

**А. М. Далинчук**

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель Г. И. Селиверстов

*Выполнены исследования электрических и режимных параметров компактных воздушных линий сеточного типа. Дана сопоставительная оценка их параметров с параметрами традиционных воздушных линий (ВЛ) электропередачи.*

**Ключевые слова:** Компактная ВЛ, электрические и режимные параметры ВЛ, натуральная и зарядная мощность ВЛ, потери мощности и напряжения.

Современная электроэнергетика – это отрасль, обеспечивающая развитие и функционирование всех отраслей народного хозяйства.

В целях ускоренного развития энергетики следует создавать ВЛ электропередачи с улучшенными удельными технико-экономическими показателями. Актуальность работы обусловлена поиском новых типов воздушных линий, отличающихся повышенной мощностью и сниженным экологическим влиянием.

Цель работы – исследование электрических параметров и режимов варианта компактной ВЛ электропередачи сеточного типа.

В исследованиях ставилась задача рассчитать и оценить электрические параметры и потери активной мощности и напряжения в сеточной двухрядной линии при изменении длины электропередачи  $L$  от 1 до 80 км.

Для исследования зависимости потерь активной мощности и потерь напряжения от передаваемой мощности и длины ее передачи рассматривались сеточные двухрядные линии [1, 2] с различным сечением проводов: АС-95/16, АС-120/19, АС-150/24, АС-185/29, АС-240/32, а также для сопоставительной оценки: традиционные одноцепные и двухцепные линии такой же длины и таких же сечений. Удельные параметры рассматриваемых вариантов линий ( $r_0$ ,  $x_0$  – активное и индуктивное сопротивление;  $b_0$  – емкостная проводимость) принимались на основании данных [1, 3]. Электрические параметры сеточной двухрядной линии приведены в табл. 1.

Таблица 1

#### Удельные параметры сеточной двухрядной линии напряжением 110 кВ

Удельные параметры	Параметры сеточной двухрядной линии для различных сечений проводов				
	АС-95/16	АС-120/19	АС-150/24	АС-185/29	АС-240/32
$r_0$ , Ом/км	0,153	0,125	0,099	0,081	0,06
$x_0$ , Ом/км	0,153	0,153	0,154	0,154	0,155
$b_0 \cdot 10^{-4}$ , См/км	7,64	7,61	7,59	7,56	7,51

В процессе исследований были определены погонные электрические параметры линий – активное сопротивление  $R_{л}$ , индуктивное сопротивление  $X_{л}$ , емкостная проводимость  $B_{л}$ , зарядная мощность  $Q_c$ .

Результаты расчетов для линий различных конструкций с сечением проводов АС-95/16 приведены в табл. 2.

Из табл. 2 видно, что активные сопротивления сеточной двухрядной и традиционной двухцепной линий равны между собой, индуктивные сопротивления и зарядные мощности при равной длине линий отличаются существенно.

Таблица 2

#### Электрические параметры сеточной двухрядной, традиционной одноцепной, традиционной двухцепной линий сечением АС-95/16

Конструктивные и электрические параметры линий электропередачи												
L, км	$R_{л}$ , Ом	$X_{л}$ , Ом	$B_{л}$ , $10^{-4}$ , см	$Q_c$ , Мвар	$R_{л}$ , Ом	$X_{л}$ , Ом	$B_{л}$ , $10^{-4}$ , см	$Q_c$ , Мвар	$R_{л}$ , Ом	$X_{л}$ , Ом	$B_{л}$ , $10^{-4}$ , см	$Q_c$ , Мвар
	сеточная двухрядная				традиционная одноцепная				традиционная двухцепная			
1	0,153	0,153	7,64	0,101	0,306	0,434	2,61	0,034	0,153	0,217	2,61	0,070
10	1,53	1,53	76,4	1,019	3,06	4,34	26,1	0,348	1,53	2,17	26,1	0,696

Окончание табл. 2

Конструктивные и электрические параметры линий электропередачи												
L, км	R <sub>л</sub> , Ом	X <sub>л</sub> , Ом	B <sub>л</sub> , 10 <sup>-4</sup> , см	Q <sub>с</sub> , Мвар	R <sub>л</sub> , Ом	X <sub>л</sub> , Ом	B <sub>л</sub> , 10 <sup>-4</sup> , см	Q <sub>с</sub> , Мвар	R <sub>л</sub> , Ом	X <sub>л</sub> , Ом	B <sub>л</sub> , 10 <sup>-4</sup> , см	Q <sub>с</sub> , Мвар
	сеточная двухрядная				традиционная одноцепная				традиционная двухцепная			
20	3,06	3,06	152,8	2,038	6,12	8,68	52,2	0,696	3,06	4,34	52,2	1,393
30	4,59	4,59	229,2	3,057	9,18	13,02	78,3	1,044	4,59	6,51	78,3	2,089
40	6,12	6,12	305,6	4,076	12,24	17,36	104,4	1,392	6,12	8,68	104,4	2,785
50	7,65	7,65	382	5,095	15,3	21,7	130,5	1,740	7,65	10,85	130,5	3,482
60	9,18	9,18	458,4	6,115	18,36	26,04	156,6	2,089	9,18	13,02	156,6	4,178
70	10,71	10,71	534,8	7,134	21,42	30,38	182,7	2,437	10,71	15,19	182,7	4,875
80	12,24	12,24	611,2	8,153	24,48	34,72	208,8	2,785	12,24	17,36	208,8	5,571

Установлены, электрические параметры сеточной двухрядной линии: индуктивное сопротивление в 2,8 раза ниже, чем в традиционной одноцепной линии, и в 1,4 раза ниже, чем в традиционной двухцепной линии; ее зарядная мощность в 2,9 раза выше, чем в традиционной одноцепной, и в 1,44 раза выше, чем в традиционной двухцепной линии электропередачи.

Принципиальная схема воздушной линии электропередачи для исследования ее режимных параметров (активной  $P$ , реактивной  $Q$  и полной  $S$  мощностей, напряжения  $U$ ) включала источник питания, нагрузку и воздушную линию их связывающую.

Исходные данные для определения потерь мощности и напряжения в линии электропередачи: напряжение источника питания 115 кВ; в качестве максимальной передаваемой мощности по линии электропередачи принята предельно передаваемая мощность для различных сечений с коэффициентом мощности, равным 0,93 (табл. 3).

Таблица 3

#### Максимальная передаваемая мощность для различных сечений проводов линий

Сечение провода	Режимные параметры линии электропередачи		
	P, кВт	Q, квар	S, кВА
АС-95/16	60,43	23,89	65
АС-120/19	69,75	27,57	75
АС-150/24	79,05	31,24	85
АС-185/29	93	36,76	100
АС-240/32	111,6	44,11	120

В качестве примера расчеты потерь мощности  $\Delta P$  и напряжения  $\Delta U$  для различных типов линий с сечением проводов АС-95/16 приведены в табл. 4.

**Результаты расчета потерь мощности и напряжения для различных типов  
ВЛ сечением АС-95/16**

Длина линии <i>L</i> , км	Режимные параметры линии электропередачи					
	$\Delta P$ , МВт	$\Delta U$ , кВ	$\Delta P$ , МВт	$\Delta U$ , кВ	$\Delta P$ , МВт	$\Delta U$ , кВ
	сеточная двухрядная		традиционная		традиционная двухцепная	
1	0,049	0,112	0,098	0,251	0,049	0,125
10	0,483	1,108	0,973	2,496	0,485	1,242
20	0,955	2,189	1,939	4,967	0,962	2,457
30	1,418	3,243	2,897	7,410	1,432	3,646
40	1,872	4,270	3,848	9,828	1,896	4,809
50	2,317	5,270	4,792	12,219	2,353	5,945
60	2,754	6,243	5,730	14,584	2,805	7,056
70	3,185	7,188	6,660	16,923	3,250	8,140
80	3,609	8,107	7,584	19,235	3,690	9,197

Результаты анализа расчетов режимов сеточной двухрядной и традиционных линий показывают следующее:

– потери активной мощности в сеточной двухрядной линии в 2,1 раза ниже, чем в традиционной одноцепной, и на 2 % раза ниже, чем в традиционной двухцепной линии при длине передачи электроэнергии 80 км.

– снижение индуктивного сопротивления и увеличение зарядной мощности в сеточной двухрядной линии из-за своих конструктивных особенностей приводит к существенному улучшению режимов напряжений электропередачи по сравнению с традиционной.

#### Литература

1. Электропередачи переменного тока повышенной мощности / В. Т. Федин [и др.]. – Минск : Навука і тэхніка, 1993. – 224 с.
2. Далинчук, А. М. Оценка возможностей компактных воздушных линий сеточного типа / А. М. Далинчук // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы XXIII Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 27—28 апр. 2023 г. : в 2 ч. Ч. 1 / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2023. – С. 204–207.
3. Справочник по проектированию электрических сетей / [И. Г. Карапетян, Д. Л. Файбисович, И. М. Шапиро] ; под ред. Д. Л. Файбисовича. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : ЭНАС, 2017. – 374 с.