

2. Аналогично определяем полную мощность, отдаваемую от шин трансформатора:

$$\dot{S}_{ТП} = (\dot{\Phi}_1 - \dot{\Phi}_4) \left( \frac{\dot{\Phi}_1 - \dot{\Phi}_4}{R_{ЛЭП1А}} \right)^* + (\dot{\Phi}_2 - \dot{\Phi}_5) \left( \frac{\dot{\Phi}_2 - \dot{\Phi}_5}{R_{ЛЭП2В}} \right)^* + (\dot{\Phi}_3 - \dot{\Phi}_6) \left( \frac{\dot{\Phi}_3 - \dot{\Phi}_6}{R_{ЛЭП1С}} \right)^*. \quad (4)$$

3. Рассчитываем потери активной мощности в трансформаторе:

$$\Delta P_T = \Delta P_{xx} + \left( \frac{|\dot{S}_{ТП}|}{S_{ном}} \right)^2 \Delta P_{к.ном}, \quad (5)$$

где  $\Delta P_{xx}$  – потери холостого хода трансформатора;  $S_{ном}$  – номинальная мощность трансформатора;  $\Delta P_{к.ном}$  – потери короткого замыкания трансформатора.

4. Находим потери активной мощности сети:

$$\Delta P_{сети} = \Delta P_T + \operatorname{Re}(\dot{S}_{ТП}) - \operatorname{Re}(\dot{S}_{нагрузки}). \quad (6)$$

5. Приводим полученное значение в относительную форму:

$$\delta P_{сети} = \frac{\Delta P_{сети}}{\Delta P_T + \operatorname{Re}(\dot{S}_{ТП})} 100. \quad (7)$$

Корректный расчет  $\delta P_{сети}$  имеет важное значение, так как этот параметр является одним из основных коммерческих показателей распределения электроэнергии.

Рассмотренные алгоритмы могут быть использованы при разработке программного обеспечения по расчету несимметричных режимов трехфазных электрических сетей. Алгоритмы являются универсальными и позволяют выполнять расчеты для схем с большим количеством потребителей.

#### Литература

1. Сибикин, Ю. Д. Электрические сети объектов электроснабжения : учебное пособие : [16+] / Ю. Д. Сибикин. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2021. – 280 с. : ил., табл. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=619094>.
2. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники / Л. А. Бессонов. – Москва : Высш. шк., 1996. – 638 с.
3. Электрические сети 0,38–110 кВ сельскохозяйственного назначения. Порядок расчета электрических нагрузок : СТП 33240.20.178-20. – Минск : Белэнерго, 2021. – 96 с.

УДК 621.315.1

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

Г. И. Селиверстов, Т. Н. Савкова

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

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

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

## ELECTRICAL AND OPERATING PARAMETERS OF COMPACT AIR LINES OF THE GRID TYPE

G. I. Seliverstov, T. N. Savkova

*Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus*

*The electrical and operating parameters of compact air lines of the grid type have been studied. A comparative assessment of their parameters with the parameters of traditional air lines has been given.*

**Keywords:** compact overhead line, electrical parameters of overhead lines, natural power of overhead lines

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 вариантов компактной воздушной линии 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 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 – активное и индуктивное сопротивление, емкостная проводимость принимались на основании данных [1, 3].

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

Результаты расчетов для линий напряжением 110 кВ различных конструкций с сечением проводов АС-95/16 приведены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что активные сопротивления сеточной двухрядной и традиционной двухцепной линий равны между собой, индуктивные сопротивления и зарядные мощности при равной длине линий отличаются существенно.

Установлено, что электрические параметры сеточной двухрядной линии следующие: 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.

Как следствие, у компактных линий сеточного типа удельная натуральная мощность (на один провод расщепленной фазы) пропорциональна числу составляющих в расщепленной фазе и лежит в диапазоне 14,2–14,6 МВт.

**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	$Q_{с},$ Мвар	$R_{л},$ Ом	$X_{л},$ Ом	$B_{л},$ $10^{-4},$ см	$Q_{с},$ Мвар	$R_{л},$ Ом	$X_{л},$ Ом	$B_{л},$ $10^{-4},$ см	$Q_{с},$ 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
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

Этот параметр у традиционной линии напряжением 110 кВ при расстоянии между проводами разных фаз, равном 5 м, составляет 10 МВт.

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 принималась предельно передаваемая мощность для различных сечений с коэффициентом мощности, равным 0,93.

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. 2.

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.

Более полно преимущества компактных линий сеточного типа характеризует степень использования ширины трассы и коридора линий при передаче через них максимального потока электрической энергии в натуральном режиме – удельной натуральной мощности, рассчитанной на метр ширины трассы  $P_{нат}/м$  и на метр коридора трассы  $P_{нат}/м^2$ .

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

Длина линии $L$ , 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

Габариты линий – ширина трассы и высота опор с грозозащитными тросами при расчете значений  $P_{\text{нат}}/м$ ,  $P_{\text{нат}}/м^2$  определялись согласно [3, 4] и для линий одного класса напряжения различаются конструктивными параметрами сближенных расщепленных фаз.

Так, степень использования ширины трассы и коридора сеточных линий при передаче через них максимального потока электрической энергии в натуральном режиме при числе проводов в расщепленной фазе равном 2 и напряжении  $U = 110$  кВ составляет 14,2 МВт/м и 0,78 МВт/м<sup>2</sup> соответственно, у традиционных двухцепных – 4,4 МВт/м и 0,24 МВт/м<sup>2</sup>.

#### Литература

1. Электропередачи переменного тока повышенной мощности / В. Т. Федин, Ю. Д. Головач, Г. И. Селиверстов, М. С. Чернецкий. – Минск : Наука і тэхніка, 1993. – 224 с.
2. Далинчук, А. М. Оценка возможностей компактных воздушных линий сеточного типа / А. М. Далинчук, Г. И. Селиверстов // 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. Карапетян, И. Г. 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. – Москва : ЭНАС, 2012. – 374 с.
4. Правила устройства электроустановок. Минэнерго СССР. – 6-е изд., перераб. и доп. – Минск : Энергоатомиздат, 1985. – 640 с.