

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ С РЕЗЕРВНОЙ ФАЗОЙ

**А.С. Нестеров, М.П. Лебедев, В.П. Кобылин,  
П.Ф. Васильев, Г.И. Давыдов, А.М. Хютанов**

*Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН,  
г. Якутск*

Рассмотрено разработанное авторами устройство резервирования линии электропередачи, основанное на схемно-техническом решении по замене традиционной двухцепной линии электропередачи одноцепной с резервной фазой. Схемно-техническое решение представляет собой расщепление резервной фазы на три составляющих токопровода, которые, в нормальном режиме работы, присоединяются к фазам рабочей цепи воздушной линии параллельно, обеспечивая при этом симметрию сопротивлений и напряжений по фазам. Так как наибольшая доля отказов воздушных линий – это однофазные повреждения на рабочей цепи, составляющие расщепленной четвертой фазы, объединяются коммутирующими выключателями и автоматически присоединяются к рабочей цепи взамен поврежденной. При этом повышается эксплуатационная надежность работы схемы, улучшается ремонтпригодность воздушной линии электропередачи и увеличивается ее пропускная способность.

*Ключевые слова: воздушная линия с резервной фазой, двухцепная линия, резервирование, несимметрия, расщепленный резервный провод, пропускная способность, ремонтпригодность, надежность, автоматическое повторное включение.*

### Введение

Выработка, передача и распределение электроэнергии основываются на трехфазной системе переменного и постоянного тока. Разработки в области передачи электрической мощности на дальние расстояния, как правило, связаны с модернизацией конструкций воздушных линий (ВЛ) переменного тока, что в последующем оказывает влияние на повышение эксплуатационных показателей надежности системы.

Современные технологии в трехфазных воздушных линиях позволяют увеличить их натуральную мощность в несколько раз по сравнению с натуральной мощностью традиционных трехфазных ВЛ [1, 2]. Однако значительное увеличение передаваемой мощности на одну цепь возможно лишь в случае улучшения показателей надежности. На ВЛ наибольшее число отказов (более 80 %) – однофазные [3]. Почти 50 % из них дуговые и устраняются в процессе однофазного автоматического повторного включения. В случае устойчивых однофазных повреждений в одноцепных электропередачах (ЭП) повысить пропускную способность позволяет, в частности, использование кратковременных и длительных неполнофазных режимов, для чего необходимо оснащение ЭП симметрирующими устройствами [4]. Другой путь повышения надежности связан с применением ВЛ с резервной фазой [5], которая в нормальном режиме отключена и используется только вместо

аварийной фазы. Очевидным недостатком резервирования рабочей цепи ВЛ четвертой фазой является наличие несимметрии кажущихся (полных) сопротивлений фаз рабочей цепи. Несимметрия сопротивлений фаз вызывает перекося напряжений по фазам рабочей цепи ВЛ и неполноту использования резервного токопровода по экономической плотности тока и, как следствие, занижается пропускная способность рабочей линии.

### Постановка цели и задач

Целью работы является разработка схемно-технических решений для сверхдальней электропередачи с резервной фазой, заключающаяся в увеличении пропускной способности и повышении надежности линии за счет резервирования фазных проводов резервным проводом, расщепленным на три составляющие.

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

1. Анализ методов и средств резервирования сверхдальних электропередач переменного тока.
2. Разработка устройства автоматического управления подготовкой расщепленной резервной фазы для повышения пропускной способности в стационарном нагрузочном режиме и переводом ее в режим резервирования.
3. Эффективность применения расщепленной резервной фазы в сравнении с традиционными методами резервирования.

## Схемно-техническое решение воздушной линии с расщепленной резервной фазой

Схемно-техническое решение, представленное на рис. 1, достигается расщеплением четвертой (резервной) фазы на три составляющих токопровода, путем создания второй (резервной) цепи, которые, в нормальном режиме, присоединяются к фазам рабочей цепи ВЛ параллельно, обеспечивая, при этом, симметрию кажущихся (полных) сопротивлений и напряжений по фазам и увеличение пропускной способности ВЛ на 60 %. При однофазном повреждении на рабочей цепи составляющие расщепленной четвертой (резервной) фазы объединяются коммутирующими выключателями и автоматически присоединяются к рабочей цепи взамен поврежденной фазы [6].

Таким образом, расщепление четвертой фазы на три составляющих и присоединение их, в нормальном режиме, параллельно рабочим фазам цепи ВЛ обеспечивает симметрию кажущихся (полных) сопротивлений токопроводов фаз, устраняет перекос напряжения по фазам ВЛ и на 60 % повышает пропускную способность рабочей цепи ВЛ.

Данное устройство резервирования линии электропередачи (см. рисунок) состоит из металлической (стальной) промежуточной опоры 1 с подвешенными к траверсам 2 подвесными изоляторами рабочей цепи 4 линии электропередачи и расщепленной на три составляющие 5 резервной фазой 6. К гирляндам изоляторов подвешиваются фазные провода 8 рабочей цепи и провода расщепленной резервной фазы. Распределение составляющих расщепленной фазы по рабочим фазам 7 цепи ВЛ осуществляется коммутирующими выключателями 1–5. При этом выключатели 1, 2 находятся в отключенном положении, а выключатели 3–5 – во включенном положении.

В случае повреждения на любой из рабочих фаз, например, на фазе А, автоматически отклю-

чаются выключатели 6, 7 фазы А и 4, 5, рабочих фаз В и С соответственно. Коммутирующие выключатели 1, 2 – объединяют все три составляющие токопровода расщепленной резервной фазы, обеспечивая бесперебойное электропитание потребителей.

### Практическая значимость

Схемно-техническое решение симметричного распределения сечения провода резервной фазы по трем рабочим в стационарном режиме работы линии увеличивает ее пропускную способность в среднем на 30 %. А также имеется возможность исключения сооружения второй цепи путем резервирования резервной фазой, что приводит к снижению капиталовложений и эксплуатационных затрат. Улучшается ремонтпригодность линейной части схемы за счет возможности проведения пофазных ремонтов. Решается основной недостаток электропередачи с резервной фазой линии, как недоиспользование суммарного сечения ВЛ в нормальном режиме.

### Заключение

1. Предложенное схемно-техническое решение по замене двухцепной линии электропередачи одноцепной с расщепленной резервной фазой, распределенной на три составляющие, позволяет симметрично распределить параметры линии в нормальном режиме работы. При этом существенно повышаются эксплуатационные показатели надежности схемы, и улучшается ремонтпригодность линии.

2. Данное схемно-техническое решение позволит увеличить пропускную способность межсистемных и системообразующих электрических сетей в среднем на 60 % а также сократит потери мощности на 16 %.

3. Использование линии электропередачи с расщепленной резервной фазой позволит автома-

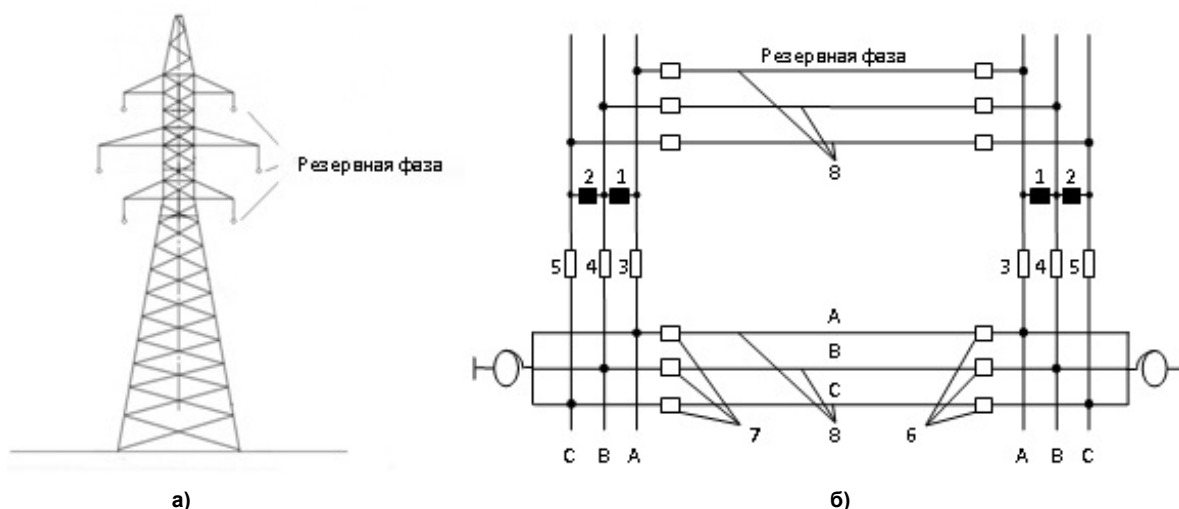


Схема-блок устройства: а – опора ВЛ с расщепленной резервной фазой; б – схема электропередачи с расщепленной резервной фазой: 1–7 – коммутирующие автоматические выключатели, 8 – токопроводы

тически или дистанционно осуществлять ввод в работу резервной фазы вместо какой-либо рабочей фазы при однофазных повреждениях, пофазной плавке, пофазном ремонте, увеличении мощности линии.

#### **Литература**

1. Курносов, А.И. Воздушные линии электропередачи 1150 кВ с повышенной натуральной мощностью и пропускной способностью / А.И. Курносов, Ю.И. Лысков, Н.Н. Тиходеев // Сб. науч. тр. НИИПТ. – М., 1985. – С. 6–20.

2. Александров, Г.Н. Передача электрической энергии переменным током / Г.Н. Александров. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 176 с.

3. Перспективы применения ОАПВ в электропередаче 1150 кВ / Н.Н. Беляков, В.С. Раишес, М.Л. Левинштейн и др. // Электропередачи 1150 кВ. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – Кн. 1. – С. 129–158.

4. Использование статических тиристорных компенсаторов в длительных неполнофазных режимах работы ЛЭП / А.А. Калюжный, В.А. Кочетыгов, М.Л. Левинштейн и др. // Изв. СО АН СССР. Сер. техн. наук. – 1985. – Вып. 1, № 4.

5. Красильникова, Т.Г. Выбор и обоснование конструкции ВЛ СВН с резервной фазой / Т.Г. Красильникова // Материалы междунар. науч.-техн. конф. «Передача энергии переменным током на дальние и сверхдальние расстояния». – Новосибирск, 2003. – Т. 1. – С. 118–127.

6. Пат. 2578040 Российская Федерация. Устройство резервирования линии электропередачи / А.С. Нестеров, М.П. Лебедев, В.П. Кобылин, П.Ф. Васильев; заявитель и патентообладатель Институт физико-технических проблем Севера СО РАН. – № 2014151341/07; заявл. 17.12.2014; опубл. 20.03.2016, Бюл. № 8. – 6 с.

**Нестеров Андрей Сергеевич**, ведущий инженер отдела электроэнергетики, Институт физико-технических проблем Севера, г. Якутск, nesterov.as@inbox.ru.

**Лебедев Михаил Петрович**, чл.-корр. РАН, д-р техн. наук, профессор, председатель Президиума Якутского научного центра СО РАН, заведующий отделом физикохимии материалов и технологий, Институт физико-технических проблем Севера, г. Якутск, m.p.lebedev@prez.ysn.ru.

**Кобылин Виталий Петрович**, д-р техн. наук, заведующий отделом электроэнергетики, Институт физико-технических проблем Севера, г. Якутск, v.p.kobylin@iptpn.ysn.ru.

**Васильев Павел Филиппович**, канд. техн. наук, старший научный сотрудник отдела электроэнергетики, Институт физико-технических проблем Севера, г. Якутск, kb-8@mail.ru.

**Давыдов Геннадий Иванович**, младший научный сотрудник отдела электроэнергетики, Институт физико-технических проблем Севера, г. Якутск, dav\_gen@mail.ru.

**Хоютанов Александр Михайлович**, ведущий инженер отдела электроэнергетики, Институт физико-технических проблем Севера, г. Якутск, shuriklater@mail.ru.

*Поступила в редакцию 23 ноября 2016 г.*

DOI: 10.14529/power160406

## **INCREASING OPERATIONAL EFFICIENCY OF OVERHEAD POWER LINES WITH BACK-UP PHASE**

**A.S. Nesterov**, nesterov.as@inbox.ru,  
**M.P. Lebedev**, m.p.lebedev@prez.ysn.ru,  
**V.P. Kobylin**, v.p.kobylin@iptpn.ysn.ru,  
**P.F. Vasilyev**, kb-8@mail.ru,  
**G.I. Davydov**, dav\_gen@mail.ru,  
**A.M. Khoiutanov**, shuriklater@mail.ru

*Institute of Physical and Technical Issues of the North, RAS SB, Yakutsk, Russian Federation*

The article deals with a transmission line reservation device based on a design and technical solution providing replacement of traditional double-circuit transmission with a backup phase single circuit. The design and technical solution splits the backup phase into three components to be connected in parallel to operation phases

of the overhead transmission line under normal operation conditions providing the symmetry of resistances and voltages. The greatest number of overhead transmission line failures are due to one-phase damages of the operation circuit. In this case, components of the split backup phase are united with switches and automatically connected to the operation circuit instead of the damaged one. It increases operational reliability of the wiring diagram, maintainability and capacity of the transmission line.

*Keywords: overhead power lines with a backup phase, asymmetry, split backup wire, double-circuit line, backup, capacity, maintainability, reliability, automatic reclosing.*

### References

1. Kurnosov A.I., Lyskov Y.I., Tikhodeev N.N. [1150 kV Overhead Power Lines with High Natural Capacity and Bandwidth]. *Proceedings of NIPT*, Moscow, 1985, pp. 6–20. (in Russ.)
2. Aleksandrov G.N. *Peredacha elektricheskoy energii peremennym tokom* [Transfer of Alternating Current Power]. Moscow, Energoatomizdat, 1990. 176 p.
3. Belyakov N.N., Rashkes V.S., Levinstein M.L. et al. [Prospects of the ARE in 1150 kV Power Transmission]. *1150 kV power transmission*, Moscow, Energoatomizdat, 1992, pp.129–158. (in Russ.)
4. Kalyuzhny A.A., Kochetygov V.A., Levinstein M.L. et al. [Using of Static Thyristor Compensators in Long-Term Open-Phase Modes of Transmission Lines]. *Izv. SO AN SSSR. Ser. Tekhn. Nauk* [Bulletin of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, USSR], 1985, vol. 1, no. 4.
5. Krasilnikova T.G. [Selection and Justification of the Overhead Line with Reserve Phase Design. Materials of the Intern. Scientific and Engineering Conf.]. *Alternating Current Transfer over Long and Very Long Distances*. Novosibirsk, 2003, pp. 118–127. (in Russ.)
6. Nesterov A.S., Lebedev M.P., Kobylin V.P., Vassilyev P.Ph. *Ustroystvo rezervirovaniya elektroperedachi* [Power Line Backup Device]. Patent RF, no. 2578040, 2016.

*Received 23 November 2016*

---

### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Повышение эффективности эксплуатации воздушных линий электропередачи с резервной фазой / А.С. Нестеров, М.П. Лебедев, В.П. Кобылин и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2016. – Т. 16, № 4. – С. 45–48. DOI: 10.14529/power160406

### FOR CITATION

Nesterov A.S., Lebedev M.P., Kobylin V.P., Vassilyev P.F., Davydov G.I., Khoiutanov A.M. Increasing Operational Efficiency of Overhead Power Lines with Back-Up Phase. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering*, 2016, vol. 16, no. 4, pp. 45–48. (in Russ.) DOI: 10.14529/power160406