

ПОВЫШЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ПУТЕМ РАСЩЕПЛЕНИЯ ФАЗЫ

В статье рассмотрен один из способов увеличения пропускной способности линии путем расщепления фазы.

Ключевые слова: пропускная способность линии, расщепление фазы, воздушная линия, потери электроэнергии, провода, мощность.

Карыбекова Бермет Кенжекуловна – доцент,
Элчиева Малика Сайталиевна - э.и.к., доцент,
Атакулов Нурболот Анварбек уулу – магистрант,
Ош технологиялык университети

ФАЗАЛАРДЫ БӨЛҮҮ ЖОЛУ МЕНЕН ЭЛЕКТР БЕРҮҮ ЛИНИЯСЫНЫН ӨТКӨРҮМДҮҮЛҮГҮН ЖОГОРУЛАТУУ

Макалада линиянын өткөрүмдүүлүк жөндөмдүүлүгүн жогорулатуу жолдорунун бири фазаны бөлүштүрүү каралат.

Ачкыч сөздөр: линиянын өткөрүмдүүлүк жөндөмдүүлүгү, фазанын бөлүнүшү, аба линиялары, электр энергиясынын жоготуулары, зымдар, кубаттуулук.

Karybekova Bermet Kenjekulovna – associate professor,
Elchieva Malika Saitalieva - candidate of economical
science, associate professor,
Atakulov Nurbolot Anvarbekuulu – graduate student,
Osh technological university

INCREASING THE TRANSMISSION CAPACITY OF A TRANSMISSION LINE BY PHASE SPLITTING

The article discusses one of the ways to increase the line capacity by splitting the phase.

Key words: line capacity, phase splitting, overhead line, electricity losses, wires, power.

Развитие современных электроэнергетических систем, как во всем мире, так и в Кыргызстане, непосредственно связано с проблемами технического и экономического характера.

На практике наиболее эффективным методом по улучшению пропускной способности за счет изменения геометрии проводов является расщепление фазы линии на несколько проводов.

К основным техническим проблемам на сегодняшний день стоит отнести ряд проблем, связанных с поиском решения таких актуальных вопросов, как повышение пропускной способности электропередач в целом, управления режимами энергосистем, обеспечения их статической и динамической устойчивости, снижения в них потерь

мощности и энергии при передаче, а также уменьшения экологического влияния, связанного с сокращением полосы отчуждения земель под строительство новых линий электропередач.

Пропускная способность линии электропередачи зависит от трех основных величин:

- 1) напряжения;
1. силы тока;
2. реактивного сопротивления линии.

Наибольшая передаваемая мощность в линии определяется так:

$$P_{max} = \frac{U_1 U_2}{Z_c \sin La_0} \quad (1)$$

где U_1 - модуль напряжения в начале линии;

U_2 - модуль напряжения в конце линии;

Z_c - волновое сопротивление линии;

$a_0 L$ - волновая длина линии.

Волновое сопротивление

$$Z_c = \sqrt{\frac{x_0}{b_0}} \quad (2)$$

где x_0 - удельное реактивное сопротивление линии;

b_0 - удельная ёмкостная проводимость линии.

Волновое сопротивление линии:

- с одиночным проводом в фазе $Z_c = 400$ Ом;

- при расщеплении фазы на три и четыре провода $Z_c = 270$ Ом;

Для линии напряжением 500 кВ максимальная передаваемая мощность составляет $P_{max} = 1300$ МВт.

Из анализа формулы (1) следует что наибольшая передаваемая мощность зависит от трех параметров ЛЭП:

- 1) U_1 - напряжения в начале линии;
- 2) U_2 - напряжения в конце линии;
- 3) Z_c - волнового сопротивления линии.

Таким образом, регулируя и изменяя каждый из этих параметров линии можно добиться передачи по линии максимальной мощности.

Поэтому к классическим мероприятиям по повышению пропускной способности линий электропередач относятся:

- 1) увеличении напряжения;
1. уменьшение суммарного реактивного сопротивления.

Следует отметить, что техническими ограничениями для пропускной способности линии электропередачи являются:

- 1) устойчивость параллельной работы генераторов системы;
- 2) нагревом отдельных элементов электропередачи;
- 3) значениями длительно допустимого напряжения;
- 4) потерями на корону в линии и другими факторами.

Как известно, пропускная способность линии электропередач зависит от заряда, который линия может перенести в единицу времени. В свою очередь величина переносимого по линии заряда зависит от двух величин:

- 1) площади поверхности провода;
- 2) допустимой напряжённости электрического поля на нём определяется следующим выражением:

$$q = 2\pi\epsilon_0\Gamma_0 E_{доп} \quad (3)$$

где q - заряд на единицу длины линии;

r_0 - радиус провода;
 $E_{\text{доп}}$ - допустимая напряжённость электрического поля;
 ϵ_0 - диэлектрическая проницаемость провода.

Из формулы (3) следует, что заряд, проходящий через провод и который он (провод) способен пропустить через себя, прямо пропорционален напряжённости электрического поля $E_{\text{доп}}$ и радиусу провода r_0 .

От радиуса провода напрямую зависит площадь поверхности провода, а согласно поверхностному эффекту, электрический ток течёт по поверхности провода и практически отсутствует внутри провода.

Электрический ток можно определить следующим выражением:

$$I = qV_{\text{в}} \quad (4)$$

где $V_{\text{в}}$ - скорость распространения волны вдоль линии.

Заряд и ёмкость, связаны следующим соотношением:

$$q = CU_{\text{ф}} \quad (5)$$

где C - рабочая ёмкость линии.

Из формул (4) и (5) следует, что увеличение тока связано с увеличением либо рабочей ёмкости линии, либо с увеличением напряжения. Добиться увеличения рабочей ёмкости можно увеличив поверхность провода путём расщепления проводов фазы.

Так же расщеплением проводов фазы достигается увеличение натуральной мощности:

$$q = 2\pi\epsilon_0 nr_0 E_{\text{доп}} (1/k_{\text{н}}) = CU_{\text{ф}} \quad (6)$$

где $U_{\text{ф}}$ - фазное напряжение линии;

$k_{\text{н}}$ - коэффициент неравномерности распределения напряженности электрического поля линии.

Тогда ток в линии определяется следующим выражением:

$$I = V_{\text{в}} CU_{\text{ф}} = U_{\text{ф}} / Z_{\text{с}} \quad (7)$$

где $U_{\text{ф}}$ - фазное напряжение линии;

$Z_{\text{с}}$ - волновое сопротивление.

Анализ полученных выражений позволяет сделать выводы, что ток и натуральная мощность линии могут быть увеличены при неизменном радиусе провода линии путем расщепления фазы линии на несколько проводов, увеличивая тем самым площадь поверхности фазы линии, что в свою очередь приводит к повышению пропускной способности воздушной линии.

Если каждую фазу линии выполнить двумя и более проводами, то такую конструкцию фазы считают расщепленной.

К числу главных технических мероприятий по улучшению пропускной способности линий электропередачи относится расщепление фаз на несколько проводов, что ведет к уменьшению индуктивного и волнового сопротивлений и увеличению емкости и естественной мощности линий электропередачи. Индуктивное сопротивление линий 500 кВ снижают с помощью расщепления фазы, когда фазу выполняют не из одного, а из трех параллельных проводов. Главными назначениями расщепления фазы провода линии на несколько проводов является:

а) увеличение ее пропускной способности;

б) снижение или ограничение коронирования ВЛ до экономически приемлемого уровня.

Расщепление фазы линии на несколько проводов помогает сократить потери на коронный разряд, благодаря увеличенной площади поверхности проводов. Это так же позволяет передать по ВЛЭП максимальную мощность с минимальными потерями. Поэтому уже начиная с напряжения 330 кВ рекомендуется расщеплять фазу ВЛЭП.

Для линии напряжением 330 кВ фазу расщепляют на два провода, для ВЛЭП напряжением 500 кВ – на три провода, 750 кВ – на пять, 1150 кВ – на двенадцать-тринадцать [3].

Так, при выполнении фазы n одинаковыми проводами погонное активное сопротивление фазы R_0 уменьшается в n раз:

$$R_0 = \frac{R'_0}{n} \quad (8)$$

Однако для ВЛ напряжением 500 кВ удельное активное сопротивление R_0 значительно меньше реактивного X_0

$$R_0 \ll X_0 \quad (9)$$

Согласно (9) увеличение пропускной способности ВЛЭП напряжением 500 кВ достигается в основном за счет снижения ее индуктивного сопротивления X_0 .

Эквивалентный радиус расщепления конструкции фаз из n проводов (рис. 1) определяется следующим выражением:

$$r_{\text{экв}}^{\text{пр}} = \sqrt[n]{r_{\text{пр}} a^{n-1}} \quad (10)$$

где $r_{\text{пр}}$ – радиус провода расщепленной фазы;

n – количество проводов расщепленной фазы;

a – расстояние между проводами расщепленной фазы.

Эквивалентный радиус полученной расщепленной фазы всегда будет намного большего действительного радиуса провода $r_{\text{пр}}$ нерасщепленной фазы ($\gg r_{\text{пр}}$), поэтому индуктивное сопротивление такой ВЛ:

$$X_0^L = 0.144 l g \frac{D_{\text{ср}}}{r_{\text{экв}}^{\text{пр}}} + \frac{0,016}{n} \quad (11)$$

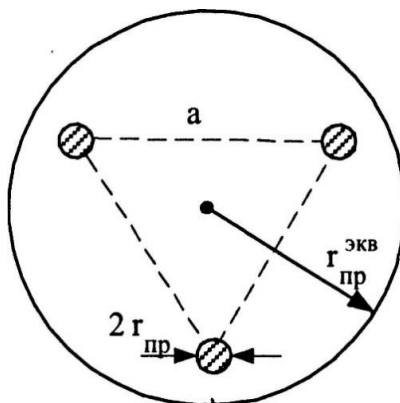


Рис.1. Параметры расщепленной фазы

Уменьшение удельного индуктивного сопротивления X_0 (индуктивного сопротивления на единицу длины линии l) достигается, в основном, за счет уменьшения внешнего сопротивления X' . Величина, на которую в результате уменьшается удельное индуктивное сопротивление относительно не велико. Так, при расщеплении фазы воздушной линии 500 кВ на три провода величина удельного индуктивного сопротивления линии уменьшается на треть - до 0,29 – 0,3 Ом/км [1]. Соответственно с уменьшением полного сопротивления линии $Z = (R_0 + jX_0)l$ увеличивается ее пропускная способность: т.к. $X_0 \gg R_0$ (12)

При расщеплении фазы линии на несколько проводов происходит увеличение эквивалентного радиуса фаз $r_{\text{экв}}^{\text{пр}}$, что влечет за собой снижение напряженности электрического поля вокруг фазы и, как следствие, ведет к снижению потери мощности на коронирование, которые для ВЛЭП напряжением 500 кВ и сверхвысокого напряжения составляют заметные величины. Поэтому их учет необходим при анализе режимов работы линий указанных классов напряжений.

При расщеплении фазы линии на несколько проводов, происходит увеличение

емкости ВЛЭП и соответственно происходит увеличение емкостной проводимости b_0 :

$$b_0 = \frac{7.58}{l g_{r_{\text{экр}}}^{\text{ср}}} 10^{-6}. \quad (13)$$

Так, при расщеплении фазы ВЛЭП 500 кВ на три провода проводимость возрастает с $2,7 \cdot 10^{-6}$ до $3,9 \cdot 10^{-6}$ См/км [3]. Что составляет соответственно порядка 30%.

Тогда зарядная мощность ВЛЭП 500 кВ Q_c средней протяженности, например, при длине линии $l = 400$ км, будет составлять:

$$Q_c = l b_0 U_{\text{ном}}^2 = 400 \cdot 3,9 \cdot 10^{-6} 500^2 = 390 \text{ МВар.}$$

Это соизмеримо с передаваемыми мощностями по ВЛ данного класса напряжения, в частности, с натуральной мощностью линии:

$$P_{\text{нат}} = \frac{U_{\text{ном}}^2}{Z_{\text{экв}}} = \frac{U_{\text{ном}}^2}{\sqrt{\frac{\chi_0}{b_0}}} = \frac{500^2}{\sqrt{\frac{0.29}{3.9 \cdot 10^{-6}}}} = 916.7 \text{ МВт.} \quad (14)$$

Расщеплением фазы, которое приводит к увеличенному радиусу эквивалентного провода, можно уменьшить волновое сопротивление линии Z_c которое согласно формуле (1) обратно пропорционально мощности, передаваемой по ВЛЭП 500 кВ.

Таким образом, уменьшая волновое сопротивление линии, можно увеличить передаваемую по ней натуральную мощность.

Натуральной мощностью ВЛЭП называется активная мощность, которую можно передать по ВЛЭП, при которой зарядная мощность ВЛЭП равна потерям реактивной мощности в ней.

Для нерасщеплённой фазы при применении проводов разных марок среднее значение волнового сопротивления Z_c составляет 400 Ом, расщеплённой на три провода – 310 Ом, на восемь проводов – 250 Ом (табл.1) [4].

Таблица 1

Среднее значение волнового сопротивления нерасщеплённой фазы при применении проводов

	Z_c , Ом	Увеличение P_{max} . %
Не расщепленная фаза	400	-
Расщепление фазы на 3 провода	310	22.5
Расщепление фазы на 8 проводов	250	37,5

Изменить волновое сопротивление линии в сторону его уменьшения можно, уменьшив расстояние между фазами.

Недостатком такого решения является проблемы со следующими возникающими ограничениями:

- 1) по условиям допустимого сближения проводов в полёте;
- 2) по воздействию ветра;
- 3) по грозовым и внутренним перенапряжениям;
- 4) по обеспечению безопасности при подъёме на опору.

Недостатками уменьшения расстояния между фазами так же являются:

- 1) увеличение ёмкостной проводимости линии;
- 2) увеличение напряжённости электрического поля на поверхности провода
- 3) увеличение шага и радиуса расщепления фазы.
- 4) увеличится зарядная мощность линии.

Как видно, пропускная способность линии электропередач ограничивается определёнными техническими условиями.

Основной проблемой для пропускной способности линий электропередач напряжением 500кВ доставляют электромагнитные процессы передачи электроэнергии. Линии электропередач этого класса напряжения имеют достаточно большую зарядную

мощность и большое индуктивное сопротивление. В связи с этим, для ВЛЭП напряжением 500 кВ необходима компенсация зарядной мощности в режиме холостого хода и в режимах малых нагрузок. Если зарядную мощность оставлять не скомпенсированной, то произойдет повышение напряжения выше номинальных значений на концах линии. А не скомпенсированное индуктивное сопротивление линии будет отрицательно сказываться на ее пропускной способности.

Необходимо подчеркнуть, что при большой пропускной способности линии электропередач необходимо иметь ввиду и учитывать тот факт, что при аварийном отключении этой линии, возникнет огромный дефицит мощности. Это может привести к нарушению устойчивости в энергосистеме.

Повышение пропускной способности ВЛЭП методом расщепления фазы имеет те же недостатки, что и предыдущие, помимо этого, при увеличении числа проводов расщепленных фаз, усложняется конструкция и возрастает стоимость линии в совокупности.

Достоинством расщепления фазы на несколько проводов являются:

- 1) уменьшение индуктивного и волнового сопротивлений линии;
- 2) увеличение емкости и естественной мощности линий электропередачи;
- 3) сокращает потери на коронный разряд, благодаря увеличенной площади поверхности проводов.

Повышение пропускной способности линии напряжением 500 кВ путем расщепления фазы на несколько проводов является наиболее целесообразным мероприятием с экономической и технической точки зрения и поэтому широко применяется для увеличения пропускной способности ВЛ напряжением 500кВ по натуральной мощности.

Заключение

Повышение пропускной способности линии напряжением 500 кВ путем расщепления фазы на несколько проводов является наиболее целесообразным мероприятием с экономической и технической точки зрения и поэтому широко применяется для увеличения пропускной способности ВЛ напряжением 500кВ по натуральной мощности и сокращает потери на коронный разряд.

Литература:

1. **Алексеев, Б.А.** Повышение пропускной способности воздушных линий электропередачи и применение проводов новых марок [Текст] / Б.А. Алексеев // Электро. 2009. № 3. С. 45–50.
2. **Герасименко, А.А.** Передача и распределение электрической энергии [Текст] / А.А.Герасименко, В.Т. Федин // Учебник для вузов,– Ростов-н/Д.: Феникс. 2006. - 720 с.
3. **Колосов, С.В.** Повышение пропускной способности ВЛ: анализ технических решений [Текст] / С.В. Колосов, С.В. Рыжов // Энергетик.2011.№1.С.18–22.
4. **Рыжов, Ю.П.** Дальние электропередачи сверхвысокого напряжения [Текст] / Рыжов Ю.П. // Учебник для ВУЗов. Москва, издательский дом МЭИ, 2007.