

## УВЕЛИЧЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ЛЭП ЗА СЧЕТ УВЕЛИЧЕНИЯ НАТУРАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ

Малыгин В. И.

научный руководитель канд. техн. наук Тремясов В. А.

*Политехнический институт СФУ*

Увеличивающийся спрос на электрическую энергию, в совокупности с растущими производственными мощностями, является неотъемлемой частью современной промышленности и энергетики. Вместе с тем, основные энергетические запасы топлива, такие как уголь, газ, а также водные ресурсы, используемые для производства электрической энергии, являются, зачастую, удаленными от производственных центров.

Поэтому передача электрической энергии по линиям электропередачи (ЛЭП) является экономически целесообразным способом передачи энергии. Так как, перевозка топлива к объекту потребления, всегда дороже, а это значит, что ЛЭП является практически безальтернативной возможностью передачи энергии, тем самым являясь очень важным элементом энергетической системы.

Пропускная способность линии также зависит от ряда факторов таких как: величина плотности тока в проводах (ограничение по нагреву), ограничения колебаний напряжения и обеспечения устойчивого режима. В случае высоковольтной линии, длина которой превышает 800 км, необходима продольная емкостная компенсация, а участки линии, имеющие длину 400–500 км, имеют ограничения по условиям перенапряжения и потерям активной мощности и должны снабжаться шунтирующими реакторами. С увеличением класса напряжения ЛЭП, увеличивается и естественная мощность линии, вместе с тем, натуральная мощность имеет слабую зависимость от сечения проводов. Например, натуральная мощность не скомпенсированной ЛЭП 220 кВ – 120 МВт, а для ЛЭП 400 кВ натуральная мощность будет лежать в диапазоне 550-625 МВт в зависимости от числа проводов в фазе, конфигурации пучка проводов, геометрии опоры и т. д. Не смотря на это, по температурному пределу линия имеет ограничение 800-900 МВт мощности (4 проводника в фазе с диаметром 16 миллиметров). Поэтому, чтобы оптимизировать передачу мощности существующих линий осуществляют повышение пропускной способности посредством последовательной компенсации на длинных высоковольтных линиях. Однако, будучи элементом линии, компенсатор (синхронный генератор в режиме компенсатора и другие устройства) требует дополнительного технического обслуживания, не говоря о том, что отказ такого элемента повлияет на надежность сети.

Волновое сопротивление линии выражается как генерированная реактивная мощность, равная потребленной реактивной мощности:

$$V^2 \omega C = I^2 \omega L \quad . \quad (1)$$

Или же уравнение (1) может быть записано как:

$$\frac{V}{I} = \sqrt{\frac{L}{C}} = Z_0, \quad (2)$$

где  $V$  – напряжение на клеммах,  $L$  – погонная индуктивность,  $C$  – погонная емкость,  $I$  – ток в линии.

Используя выражения (2) можно записать натуральную мощность линии:

$$P_{НАТ} = \frac{V^2}{Z_0} = \frac{V^2}{\sqrt{L/C}} \quad (3)$$

Из уравнения (2) следует, что волновое сопротивление прямо пропорционально индуктивности и обратно пропорционально ёмкости. Следовательно, чтобы повысить натуральную мощность линии, необходимо снизить индукцию и увеличить ёмкость.

Индуктивность линии выражается как  $L_{Л} = L_C - L_B$ , где  $L_C$  – самоиндукция,  $L_B$  – взаимоиנדукция. Самоиндукцию успешно снижают, используя увеличенное количество проводов в фазе и/или использованием, так называемого, «увеличенного пучка».

Проведенное исследование было сконцентрировано на использовании вышеизложенных приемов именно в фазах, где провода располагаются несимметрично, увеличивая таким образом натуральную мощность линии, имеющей большую пропускную способность, чем ЛЭП с использованием симметричное положение проводников в фазе относительно друг друга.

Для анализа использовалась ЛЭП 400 кВ (Чехия) с опорой горизонтального типа, с 4-мя проводниками в фазе.

Ниже представлены результаты расчета натуральной мощности в зависимости от расстояния между фазами, расстояния между проводами в фазе и использованием симметричной и ассиметричной конструкции проводников в фазе (см.рис. 1). Приводятся результаты расчета волнового сопротивления, индуктивного сопротивления, ёмкостной проводимости и натуральной мощности линии в различных случаях. Расчеты выполнены с помощью программы математического моделирования Wolfram Mathematica.

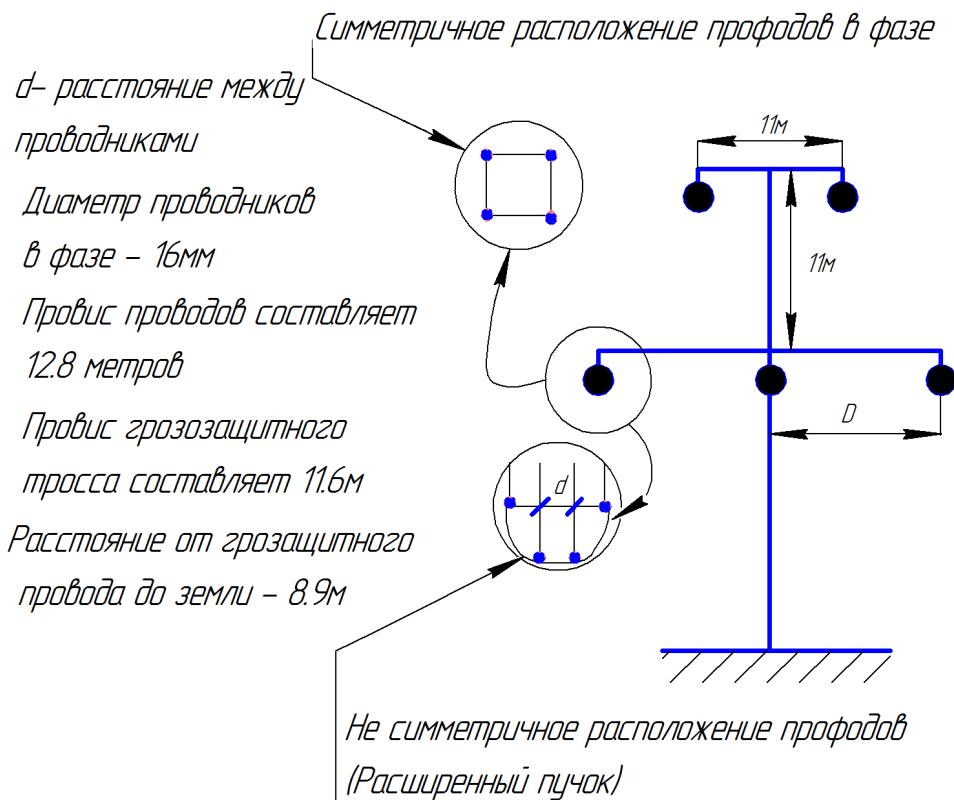


Рисунок 1. Опора и размещение проводов в фазе

Из таблицы 1 видно, что натуральная мощность для линии 400 кВ, с симметрично размещенными проводниками в фазе ( $d=0.45\text{м}$ ), равна 623 МВт (при волновом сопротивлении  $Z_0 = 256 \text{ Ом}$ ), которая возрастает на 16 % (при снижении волнового сопротивления на 13%) для  $d=1\text{м}$ .

Таблица 1. Натуральная мощность ЛЭП с использованием симметричного пучка.

Таблица 2. Натуральная мощность с использованием несимметричного пучка.

Использование пучка с несимметричным расположением проводников позволяет увеличить натуральную мощность на 22 процента, а волновое сопротивление снизить на 18 процентов при  $d=0.7\text{м}$  в сравнении с обыкновенной линией. Результаты расчетов приведены в таблице 2. Поэтому далее рассматривается именно линия с несимметричным расположением проводников, ввиду более высокой эффективности.

Влияние взаимной индукции, где с изменением расстояния между фазами рассмотрены два различных типа несимметричной конфигурации пучков с расстояниями между проводниками равными 0.3 и 0.5 метров. Результаты расчетов для  $d=0.3$  и  $cd=0.5 \text{ м}$  приведены в таблицах 3 и 4 соответственно.

Расстояние между фазами D (м)	Индуктивное сопротивление (Ом/км)		Емкостная проводимость (мкСм/км)	$P_{НАТ}$ (МВт)
	Самоиндукции	Взаимоиндукции		
11	0.4709	0.233	4.90	732
10	0.4706	0.239	5.02	749
9	0.4701	0.247	5.16	770
8	0.4695	0.254	5.33	793
Расстояние между проводниками в фазе d (м)	Индуктивное сопротивление (Ом/км)	Емкостная проводимость (мкСм/км)	$P_{НО}$ (МВт)	
	Самоиндукции	Взаимоиндукции		
0.45	0.510	0.233	4.17	623
0.70	0.490	0.233	4.55	672
1.0	0.473	0.233	4.85	721
1.25	0.453	0.233	5.12	762

Таблица 3. Натуральная мощность с изменением расстояния между фазами при d=0.3 м

Расстояние между проводниками в фазе d (м)	Индуктивное сопротивление (Ом/км)		Емкостная проводимость (мкСм/км)	$P_{НАТ}$ (МВт)
	Самоиндукции	Взаимоиндукции		
0.3, 0.3, 0.3	0.483	0.234	4.65	693
0.4, 0.4, 0.4	0.471	0.234	4.93	731
0.7, 0.7, 0.7	0.461	0.234	5.14	762

Таблица 4. Натуральная мощность с изменением расстояния между фазами при d=0.5 м

Из результатов расчета видно, что с уменьшением расстояния между фазами с 11 м до 8 м и при использовании конструкции фазы с расширенным пучком, натуральная мощность, возрастает, примерно, на 8%, а волновое сопротивление, в свою очередь, снижается до 8%.

Линии такого типа, обладающие расширенной конструкцией пучка, обеспечивают оптимальное распределение электрического поля на поверхности проводника, и как следствие, снижается индуктивность. Поэтому, такие ЛЭП обладают такими преимуществами как: повышенная пропускная способность, и улучшенная стабильность линии, а так же сниженные потери. Так же, эти линии будут предпочтительнее, чем их обыкновенные аналоги по ряду причин, напри-

Расстояние между фазами D (м)	Индуктивное сопротивление (Ом/км)		Емкостная проводимость (мкСм/км)	$P_{НАТ}$ (МВт)
	Самоиндукции	Взаимоиндукции		
11	0.4836	0.233	4.65	693
10	0.4830	0.239	4.75	708
9	0.4827	0.247	5.86	724
8	0.4824	0.254	5.01	748

мер, из-за оптимального использования трассы для линии, уменьшения размеров фазы, сниженного влияния на окружающую среду, а также, сниженной цены на передачу энергии. Нельзя не отметить тот факт, что использование такого типа линий, значительно снижает потери на корону и количество радишумов. Нет дополнительного оборудования соединенного последовательно с линией, следовательно, меньше необходимость в обслуживании и доступность ЛЭП должна быть высокой. Отмеченные преимущества являются, по нашему мнению, серьезным аргументом для изучения таких ЛЭП в будущем.

Стоит отметить также и проблемы, связанные с линиями с высокой натуральной мощностью. Например, генерируется большая зарядная мощность в сравнение с обыкновенной ЛЭП. В связи с этим необходимо пересмотреть распределение реактивной мощностью в линии. Так же необходимо детально рассмотреть электрическое поле, разработать арматуру для фаз с расширенным несимметричным пучком.

По информации, полученной в ходе исследования, можно сделать вывод, о вполне логичном введении в широкую эксплуатацию ЛЭП с повышенной пропускной способностью. Современная энергетика нуждается в увеличении передаваемой мощности, ввиду появления новых потребителей в системе. Качество электрической энергии, в тоже время должно отвечать современным международным стандартам. Широким «полем» для развития и внедрения, данных ЛЭП являются «Умные сети», в которых идеально сбалансирована высокая мощность, надежность и мобильность системы.

Nayak R. N EHV Transmission Line Capacity Enhancement through Increase in Surge Impedance Loading Level

Xiao-Ping Zhang, Christian Rehtanz, Bikash Pal Flexible AC Transmission Systems: Modelling and Control