

УДК:621.311

## ПОВЫШЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ЛИНИИ МЕТОДОМ КОМБИНИРОВАННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ВОЛНОВОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ И ВОЛНОВУЮ ДЛИНУ

Элчиева Малика Сейталиевна-к.э.н.доцент,  
Андаева Замира Туратовна-доцент,  
Эрмек уулу Бекназар-магистрант,  
Ошский технологический университет  
<https://doi.org/10.5281/zenodo.10645900>

**Аннотация:** Проблема повышения пропускной способности линии актуальна. В работе проанализирован один из способов повышения пропускной способности линии путем комбинированного воздействия на волновое сопротивление и волновую длину

**Ключевые слова:** пропускная способность, линия, волновое сопротивление, волновая длина, напряжение

## INCREASING LINE CAPACITY USING A COMBINED EFFECT ON CHARACTERISTIC IMPEDANCE AND WAVELENGTH

**Abstract:** The problem of increasing line capacity is relevant. The work analyzes one of the ways to increase the capacity of a line through a combined effect on the characteristic impedance and wavelength

**Key words:** throughput, line, characteristic impedance, wavelength, voltage

### ВВЕДЕНИЕ

Проблема увеличения пропускной способности существующих магистральных воздушных линий электропередачи напряжением 500кВ приобретает свою актуальность. Воздушные линии электропередачи являются основным инструментом транспортировки электроэнергии[2]. Поэтому, с целью повышения их пропускной способности для передачи по ним растущих мощностей на фоне постоянного роста энергопотребления требуется их модернизация. В связи с этим, проблема повышения пропускной способности ВЛ напряжением 500 кВ, как основных «транзитеров» электрической энергии, сохраняет свою актуальность и в настоящее время.

### ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Решение проблемы увеличение пропускной способности линии электропередач сверхвысокого напряжения, в свою очередь, является не простой задачей, поскольку принцип работы воздушных линий электропередач сверхвысокого напряжения (свыше 220 кВ) отличается от принципа работы воздушной линии более низкого класса напряжения. В работе воздушных линий наблюдается следующая закономерность: чем выше класс напряжения линии и ее длина, тем сильнее выражены свойства линии, обусловленные волновым характером передачи электроэнергии. К тому же для линий сверхвысокого напряжения начинают накладываться требования по обеспечению статической и динамической устойчивости[1]. Например, пропускная способность линии 35 кВ ограничивается только нагревом её проводов и поэтому, в случае короткого замыкания или обрыва провода на ней, особых возмущений в системе не происходит. Но при коротком замыкании на линии 500 кВ или при обрыве провода на ней, возмущения в системе будут заметными. При этом пропускная способность линии 500 кВ уже не зависит от ограничений

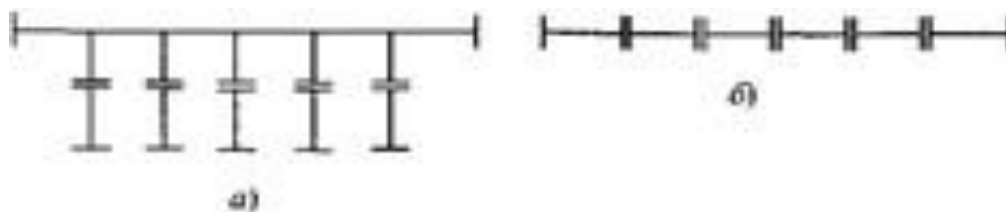
по нагреву её проводов, а определяется волновым характером передачи электроэнергии, балансом реактивной мощности в линии, статической и динамической устойчивостью. Поэтому, увеличение пропускной способности линии электропередач напряжением 500 кВ представляет из себя более сложную задачу.

Для решения задачи по увеличению пропускной способности линии электропередачи сверхвысокого напряжения в электроэнергетике существует метод комбинированного воздействия на волновое сопротивление и волновую длину.

Сущность этого способа заключается в параллельном или последовательном включении в линию электропередачи компенсирующих устройств имеющих ёмкостной характер (конденсаторов). При этом, желаемый эффект достигается только при выполнении следующих обязательных требований:

- 1) равномерное распределение компенсирующих устройств вдоль рассматриваемой линии
- 2) минимально возможные расстояния между устанавливаемыми КУ.

Индуктивность, накапливаемая в ВЛЭП 500 кВ во время ее работы, является основным фактором, препятствующим увеличению ее пропускной способности. Поэтому данный способ увеличения пропускной способности ВЛЭП исключает применение компенсирующих устройств, имеющих индуктивный характер. В этом случае применение КУ с индуктивным характером приведет только к обратному эффекту. Схемы параллельного и последовательного включения компенсирующих устройств представлены на рисунке 1.



**Рис. 1. Равномерно распределённая ёмкостная компенсация:**  
а) параллельная, б) последовательная.

Дополнительная удельная ёмкостная проводимость  $b_{0k}$ , которую создают параллельные компенсирующие устройства определяется следующим выражением:

$$b_{0k} = \sum b_k / \ell$$

Тогда волновое сопротивление компенсированной линии можно определить по следующему выражению:

$$Z_{BK} = \sqrt{\frac{X_0}{b_0 + b_{0k}}} = Z_B \sqrt{\frac{1}{1 + k_b}}$$

где  $k_b = b_{0k} / b_0$ .

Максимальная мощность, которую можно передать по длинной линии без потерь будет в случае, когда длина линии будет равна длине ее электромагнитной волны  $\lambda$ . При частоте 50 Гц длина волны  $\lambda$  будет 6000 км.

Соответственно, фазный коэффициент изменения электромагнитной волны  $\beta_k$  и волновая длина линии с компенсацией  $\lambda_k$  будут значительно больше, чем в случае аналогичной линии той же длины, но без компенсации[3]. Следовательно, одной четверти волны компенсированной линии будет соответствовать четверть длины волны  $\lambda_k/4$  не

меньше чем 1500 км.

Тогда мощность, передаваемую по ЛЭП при параллельной компенсации, можно найти как:

$$P = \frac{U^2}{Z_{BK} \sin \lambda_k} \sin \delta$$

где  $\lambda_k$ - длина волны линии с компенсацией;

$Z_{BK}$ - волновое сопротивление компенсированной линии.

Разделив мощность  $P$  передаваемую по компенсированной линии на натуральную мощность  $P_{нат}$ , получим:

$$\frac{P}{P_{нат}} = \frac{\sqrt{1+k_b}}{\sin \sqrt{1+k_b} \beta_0 \ell} \sin \delta$$

Максимальная мощность, передаваемая в линии, будет определяться следующим выражением:

$$P_{max} = \frac{\sqrt{1+k_b}}{\sin \sqrt{1+k_b} \beta_0 \ell}$$

Величину удельного продольного ёмкостного сопротивления при использовании последовательной ёмкостной компенсации можно определить следующим выражением:

$$x_{0k} = -\frac{\sum x_k}{\ell}$$

Величину волнового сопротивления  $Z_{ck}$  для компенсированной линии можно определить по следующему выражению:

$$Z_{BK} = Z_B \sqrt{1 - k_x}$$

где  $K_x = x_{0k} / x_0$

Волновое сопротивление  $Z_{BK}$  компенсированной линии, как и при параллельном включении будет меньше, чем волновое сопротивление  $Z_B$  у линии без компенсации.

Величину фазового коэффициента распространения электромагнитной волны  $\beta_k$  для компенсированной линии можно определить выражением:

$$\beta_{0k} = \sqrt{\frac{x_0 - x_{0k}}{b_0}}$$

Фазный коэффициент  $\beta_{0k}$  и волновая длина линии  $\lambda_k$  компенсированной линии будут также меньше чем у линии без компенсации, а четверти волны  $\lambda_k/4$  компенсированной линии будет соответствовать длина больше 1500 км.

К достоинствам устройств продольной компенсации можно отнести:

- 1) безынерционность действия;
- 2) отсутствие вращающихся частей;
- 3) компенсация осуществляется достаточно просто;
- 4) возможна довольно большая степень компенсации.

К недостаткам продольной компенсации устройствами УПК можно отнести:

- 1) нерегулируемость напряжения в сети;
- 2) сложности управления при переменной нагрузке;
- 3) возникновение перенапряжений при резких изменениях нагрузки.

В связи с этим, УПК работают быстро, и имеют простое устройство.

### **ВЫВОДЫ**

По сравнению с поперечной и продольная емкостная компенсация является достаточно простой. А также является эффективным средством повышения пропускной способности линии электропередач.

### **Литература**

1. **Александров Г.Н.** Передача электрической энергии [Текст]/ Г. Н. Александров// - 2-е изд.-СПб.: из-во Политехн. ун-та, 2009. -412 с.
2. **Быстрицкий Г.Ф.** Основы энергетики [Текст]/Г.Ф. Быстрицкий// Учебник для вузов.Кнорус, М,2012,-278с.
3. **Рыжов Ю.П.** Дальние электропередачи сверхвысокого напряжения [Текст]/ Ю.П. Рыжов //Учебник для ВУЗов. Москва, издательский дом МЭИ, 2007.-488с.