

# ОСОБЕННОСТИ ЛЭП В $\frac{1}{4}$ И $\frac{1}{2}$

ДЛИНУ ВОЛНЫ

Рассмотрим особенности линий в  $1/4$  и  $1/2$  длину волны на основании уравнений четырёхполюсника.

$$\left. \begin{aligned} \underline{U}_1 &= \underline{A} \cdot \underline{U}_2 + \underline{B} \cdot \underline{I}_2 \\ \underline{I}_1 &= \underline{C} \cdot \underline{U}_2 + \underline{D} \cdot \underline{I}_2 \end{aligned} \right\}$$

$$\underline{A} = \underline{ch}(\gamma_0 l) + \underline{D} = \underline{ch}(\alpha_0 l) \cdot \cos(\beta_0 l) + j \cdot \underline{sh}(\alpha_0 l) \cdot \sin(\beta_0 l);$$

$$\underline{B} = \underline{Z}_e \cdot \underline{sh}(\gamma_0 l) = \underline{Z}_e \cdot [\underline{sh}(\alpha_0 l) \cdot \cos(\beta_0 l) + j \cdot \underline{ch}(\alpha_0 l) \cdot \sin(\beta_0 l)].$$

В выражении  $A$  при длине линии около 1500 км действительная часть равна нулю, а при 3000 км имеет максимальное значение и отрицательный знак.

В выражении  $B$  при длине линии около 1500 км мнимая часть имеет максимальное значение, а при 3000 км равна нулю.

Это означает, что линии длиной 1500 и 3000 км имеют некоторые граничные режимы.

## Особенности ЛЭП в $\frac{1}{4}$ длины волны (1500км).

$$\begin{cases} \underline{U}_1 = \underline{U}_2 \cdot \cos \lambda_{Л} + j \underline{Z}_C \cdot \underline{I}_2 \cdot \sin \lambda_{Л} \\ \underline{I}_1 = \underline{I}_2 \cdot \cos \lambda_{Л} + j \frac{\underline{U}_2}{\underline{Z}_C} \cdot \sin \lambda_{Л} \end{cases}$$

$$\lambda_{Л} = \frac{\pi}{2} \Rightarrow \cos \lambda_{Л} = 0; \sin \lambda_{Л} = 1.$$

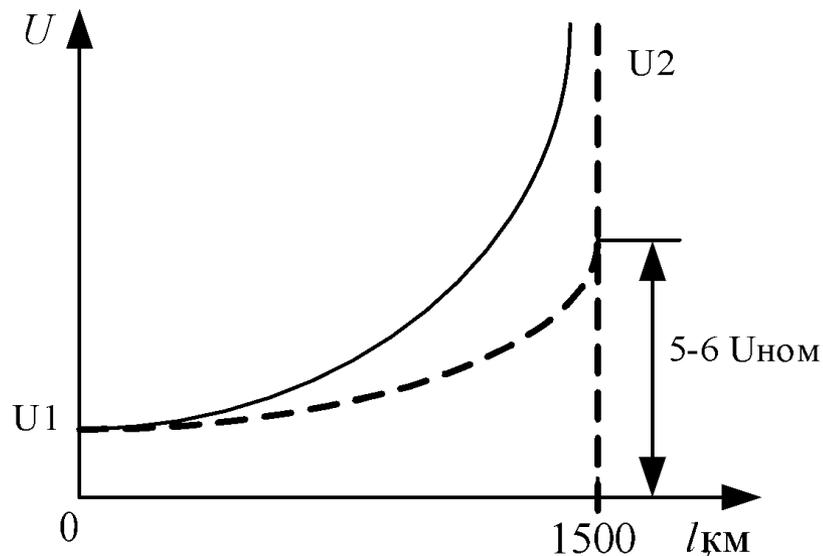
Рассмотрим два режима.

### 1. Режим одностороннего включения.

$$\underline{I}_2 = 0 \Rightarrow \underline{U}_1 = \underline{U}_2 \cos \lambda_{Л}.$$

Если напряжение в начале линии неизменно или изменяется по известному закону, то напряжение в конце линии имеет следующую зависимость:

$$\underline{U}_2 = \frac{\underline{U}_1}{\cos \lambda_{Л}}.$$



## 2. Нагрузочный режим.

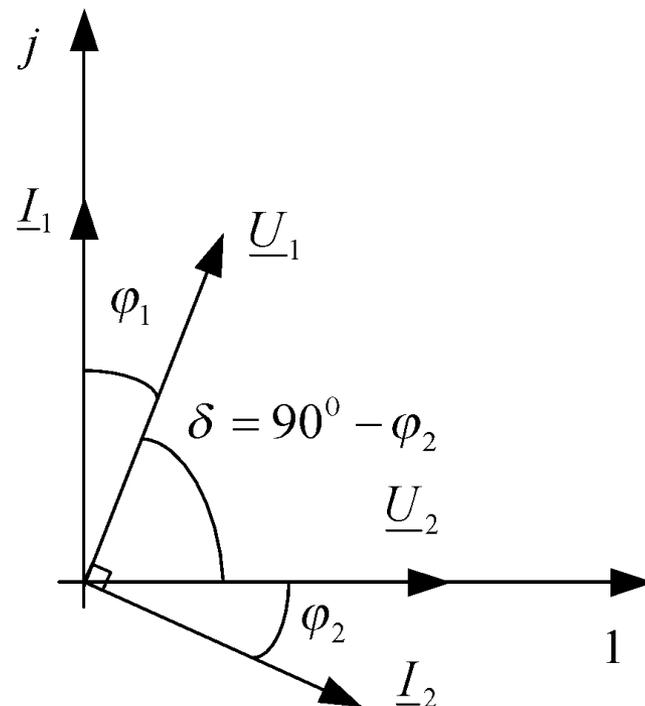
$$\begin{cases} \underline{U}_1 = j \cdot \underline{Z}_C \cdot \underline{I}_2 \\ \underline{I}_1 = j \frac{\underline{U}_2}{\underline{Z}_C} \end{cases}$$

Из уравнений видно:

- напряжение в начале линии не зависит от напряжения в конце;
- ток не зависит от тока в конце линии, а зависит от напряжения.

Вектор напряжения в начале линии опережает вектор тока на 90 градусов, если в конце линии подключена активно-индуктивная нагрузка.

Активно-индуктивная нагрузка в конце электропередачи воспринимается как активно-емкостная в начале линии.

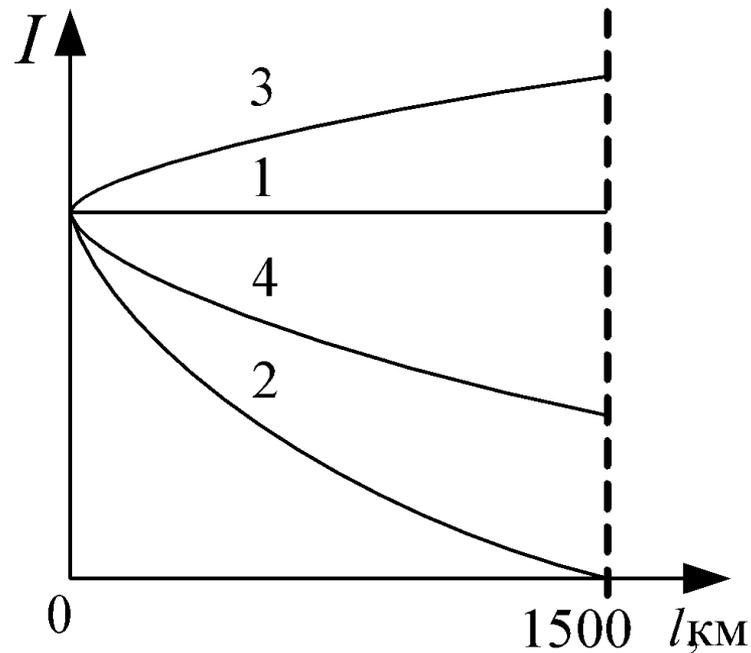
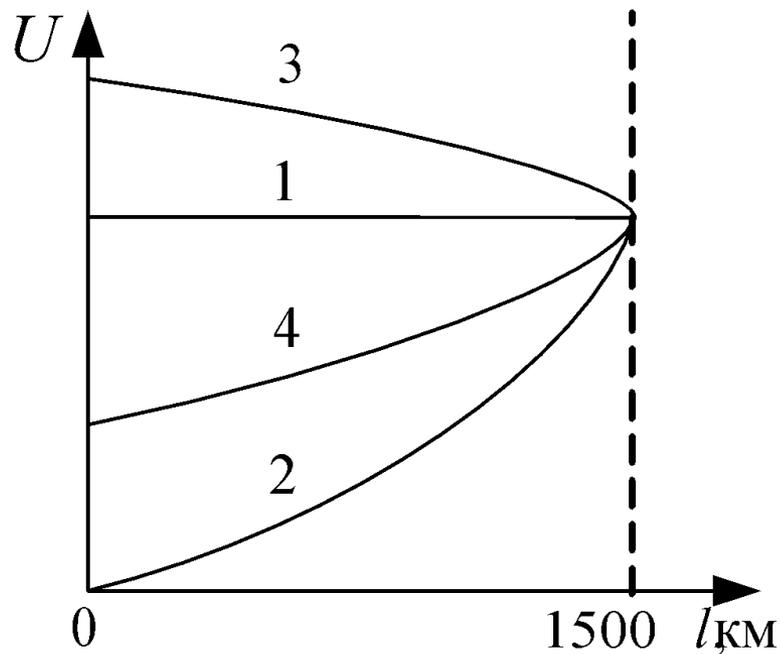


Когда по линии протекает чисто активная мощность, угол между напряжениями по концам будет 90 градусов, независимо от величины передаваемой активной мощности. Т.е. линия будет работать на пределе статической устойчивости. Предел передаваемой мощности равен натуральной, при этом поток реактивной мощности должен быть направлен в приёмную систему.

$$P_p = \frac{U_1 U_2}{Z_c \sin \lambda_c} = \frac{U_1 U_2}{Z} P_c$$

**Эффект Ферранти** - эффект повышения напряжения на разомкнутом конце линии. Он обусловлен стеканием избыточной реактивной мощности в сторону источника питания.

Если напряжение в конце линии постоянно, то и ток в начале линии является величиной неизменной. Т.е. регулирование мощности в начале линии возможно только за счёт напряжения. Диапазон регулирования 10%.



Распределение напряжений и токов вдоль четвертьволновой линии при различной нагрузке:  
 1 -  $P = P_c$ ; 2 -  $P = 0$  (хх); 3 -  $P > P_c$ ; 4 -  $P < P_c$ .

## Основные особенности линии в $\frac{1}{4}$ длины волны:

- недопустим режим одностороннего включения линии, т.к. напряжение в конце линии и других точках может значительно превысить номинальное;
- при отсутствии потока реактивной мощности в конце линии из линии в систему электропередача будет находиться на пределе статической устойчивости;
- передаваемая мощность не велика;
- малы регулировочные способности ЛЭП.

## Особенности ЛЭП в $\frac{1}{2}$ длины волны (3000км).

$$\lambda_{Л} = \pi \Rightarrow \cos \lambda_{Л} = -1; \sin \lambda_{Л} = 0.$$

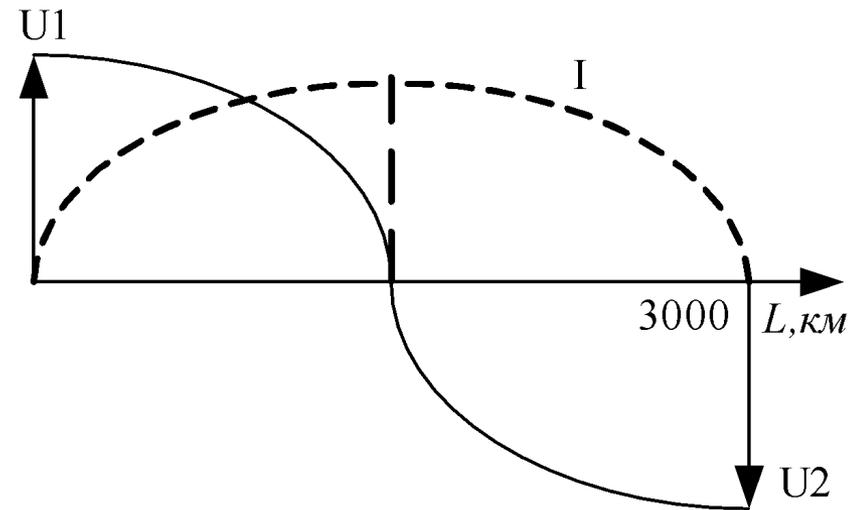
Аналогично рассмотрим два режима.

### 1. Режим одностороннего включения.

$$\begin{cases} \underline{U}_1 = -\underline{U}_2 \\ \underline{I}_1 = -\underline{I}_2 = 0 \end{cases}$$

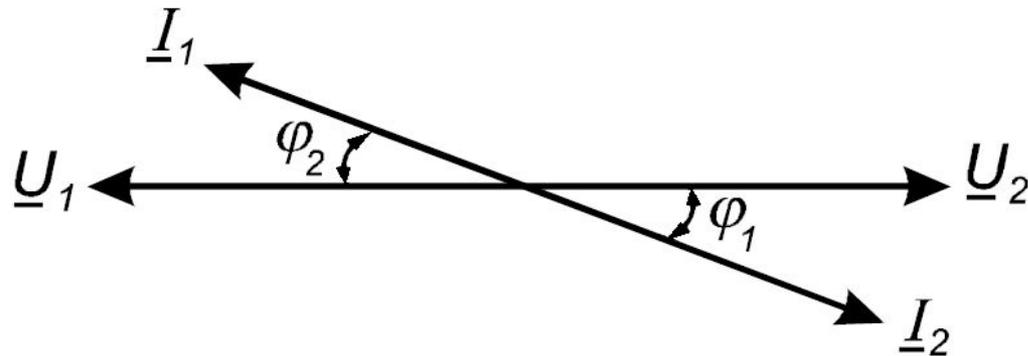
В середине линии параметры имеют следующие значения:

$$\begin{cases} U_{cp} = 0 \\ I_{cp} = j \frac{U_2}{Z_C} = j \cdot I_{нат} \end{cases}$$



## 2. Нагрузочный режим

$$\begin{cases} \underline{U}_1 = -\underline{U}_2 \\ \underline{I}_1 = -\underline{I}_2 \end{cases}$$



В середине линии:

$$\begin{cases} U_{cp} = j \cdot Z_C \cdot I_2 \\ I_{cp} = j \cdot I_{нат} \end{cases}$$

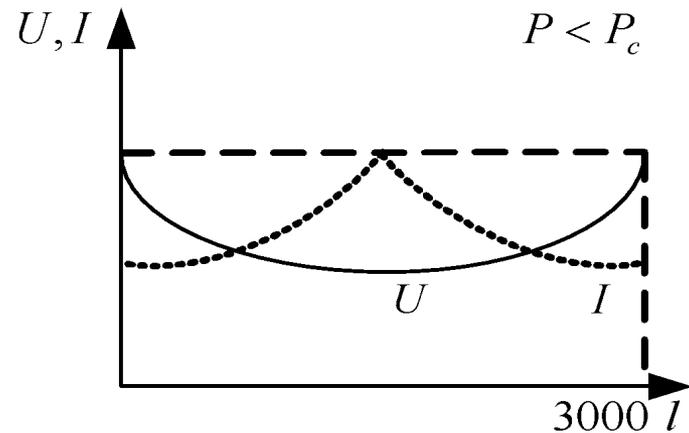
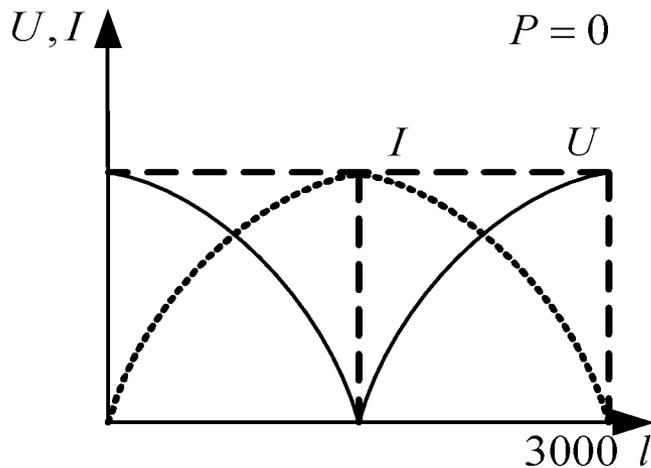
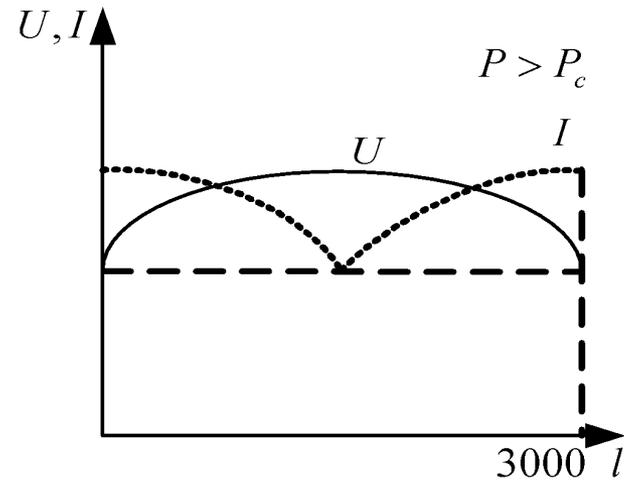
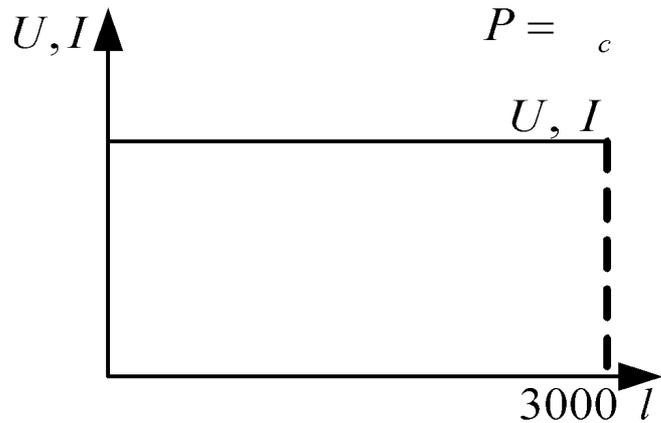
$$\begin{cases} S_1 = \sqrt{3} \cdot \underline{U}_1 \cdot \underline{I}_1^* = \sqrt{3} \cdot \underline{U}_2 \cdot \underline{I}_2^* \\ S_2 = \sqrt{3} \cdot \underline{U}_2 \cdot \underline{I}_2^* = \sqrt{3} \cdot \underline{U}_1 \cdot \underline{I}_1^* \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \underline{U}_1 = -\underline{U}_2 \\ \underline{I}_1 = -\underline{I}_2 \end{cases} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow P_1 = P_2; Q_1 = Q_2.$$

Необходимым условием передачи активной мощности по однородной полуволновой линии является наличие перепада напряжения по концам линии. В противном случае мощность на отправном и приемном конце будет направлена в линию и расходоваться на покрытие потерь.

$$P_{np} = \frac{U_1 \cdot U_2}{Z_c \cdot \sin \beta_0 l} = \frac{U_1 \cdot U_2}{Z_c \cdot 0} = \infty$$

Предел передаваемой мощности такой линии стремится к бесконечности, однако практически это свойство линии не может быть использовано, так как линия работает в режиме близком к резонансу тока.



Распределение напряжений и токов вдоль идеализированной полуволновой линии при различных значениях передаваемой активной мощности.

## Основные особенности линии в $\frac{1}{2}$ длины волны:

- режим одностороннего включения допустим. Эффект Ферранти отсутствует;
- линия имеет хорошие регулировочные способности;
- высокий предел передаваемой мощности;
- большой запас статической устойчивости;
- ток в середине линии имеет свойство постоянства по величине, напряжение в середине линии не зависит от напряжения по концам линии.

Однако такие линии в чистом виде не используются, из-за отсутствия возможности промежуточного отбора мощности.