

УДК 621.311

**ВЛИЯНИЕ УСТРОЙСТВА ПРОДОЛЬНОЙ КОМПЕНСАЦИИ НА  
ПРОПУСКНУЮ СПОСОБНОСТЬ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ  
EFFECT OF THE LONGITUDINAL COMPENSATION DEVICE ON THE  
TRANSMISSION CAPACITY OF THE POWER TRANSMISSION SYSTEM**

П.И. Стаскевич, Д.З. Павлов

Научный руководитель – Д.М. Смолловская, ассистент  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь  
diana12.ru@mail.ru

P. Staskevich, D. Pavlov  
Supervisor – D. Smolovskaya, Assistant  
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

**Аннотация:** В статье затрагивается тема компенсации реактивности линии электропередач. В статье проведен расчет, отражающий преимущества установки устройства продольной компенсации.

**Annotation:** The article deals with the topic of compensation of the reactivity of the power line. The article presents a calculation that reflects the advantages of installing a longitudinal compensation device.

**Ключевые слова:** компенсация, реактивная мощность, батареи конденсаторов, линия электропередачи.

**Keywords:** compensation, reactive power, capacitor banks, power line.

### Введение

В современном мире постоянно идет увеличение объемов использования электроэнергии, и в связи с этим встает вопрос о увеличении пропускной способности линий электропередач для передачи и распределения большей активной мощности.

### Основная часть

Увеличить пропускную ЛЭП возможно, увеличив сечение кабеля, однако это дорого и долго, либо же установив УПК (рисунок 1, [2]) – устройства продольной компенсации, которые компенсируют реактивности линий электропередач.

Стоимость комплекса УПК составляет одну десятую от стоимости новой ЛЭП и представляет собой последовательно включенные в ЛЭП батареи конденсаторов [1].

Рассмотрим увеличение пропускной способности электрической системы (рисунок 2) напряжением 220 кВ при использовании УПК (рисунок 3).

Параметры системы [3]:

Мощность генератора Г  $S_{нГ} = 400$  МВА,  $\cos \varphi_{нГ} = 0,87$ , напряжение на выводах генератора  $U_{нГ} = 20$  кВ, переходное индуктивное сопротивление генератора  $x'_{аГ} = 27$  %; мощность трансформатора Т  $S_{нТ} = 500$  МВА, напряжение короткого замыкания  $U_{кТ} = 8$  %, коэффициент трансформации  $K_T = \frac{220}{20}$ ; длина линии Л1 и Л2  $l = 190$  км, удельное сопротивление линии

$x_0 = 0,32 \text{ Ом/км}$ , напряжение линии  $U_{\text{НЛ}} = 220 \text{ кВ}$ ; мощность автотрансформатора АТ  $S_{\text{НАТ}} = 500 \text{ МВА}$ , напряжения короткого замыкания  $U_{\text{квсАТ}} = 7 \%$ ,  $K_{\text{АТ}} = \frac{347}{220}$ ; активная мощность нагрузки  $P_{\text{Н}} = 300 \text{ МВт}$ , реактивная мощность нагрузки  $Q_{\text{Н}} = 150 \text{ Мвар}$ .

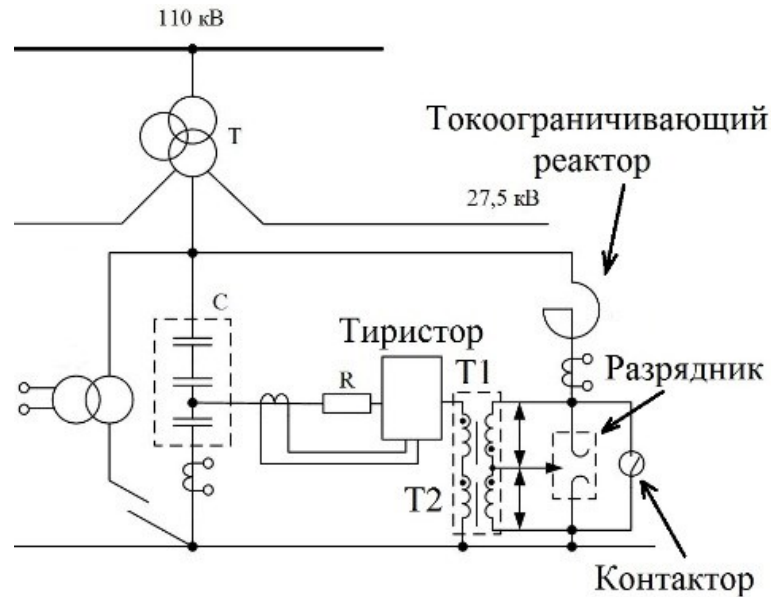


Рисунок 1 – Схема включения одной секции конденсаторов УПК тяговой электросети

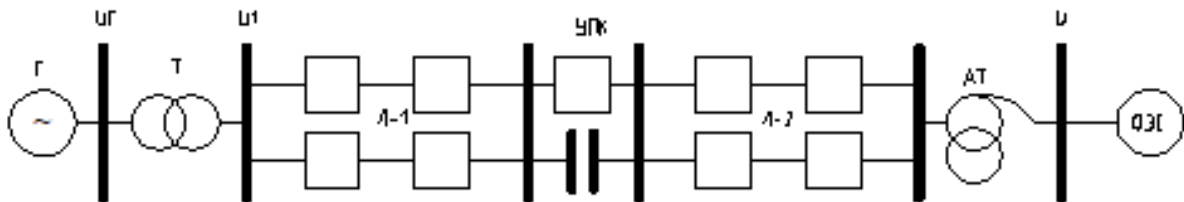


Рисунок 2 – Принципиальная схема рассматриваемой системы электропередачи

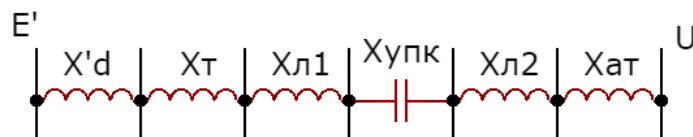


Рисунок 3 – Схема замещения рассматриваемой системы электропередачи с УПК

Базисные параметры системы:

$$U_6 = 330 \text{ кВ}, S_6 = 300 \text{ МВА}.$$

Зададим индуктивное сопротивление УПК  $x_{\text{УПК}} = 0,1$ .

Рассчитаем параметры системы в относительных единицах.

Переходное индуктивное сопротивление:

$$x'_{*d} = \frac{x'_{dГ} \cdot U_{НГ}^2 \cdot S_6}{100 \cdot S_{НГ} \cdot U_6^2} \cdot (K_T)^2 \cdot (K_{АТ})^2 = \frac{27 \cdot 20^2 \cdot 300}{100 \cdot 400 \cdot 330^2} \cdot \left(\frac{220}{20}\right)^2 \cdot \left(\frac{347}{220}\right)^2 = 0,224.$$

Найдем индуктивные сопротивления трансформатора и автотрансформатора:

$$x_{*Т} = \frac{U_{КТ} \cdot U_{НГ}^2 \cdot S_6}{100 \cdot S_{НГ} \cdot U_6^2} \cdot (K_{АТ})^2 = \frac{8 \cdot 220^2 \cdot 300}{100 \cdot 500 \cdot 330^2} \cdot \left(\frac{347}{220}\right)^2 = 0,053,$$

$$x_{*АТ} = \frac{U_{КВСАТ} \cdot U_{НАТ}^2 \cdot S_6}{100 \cdot S_{НАТ} \cdot U_6^2} = \frac{7 \cdot 330^2 \cdot 300}{100 \cdot 500 \cdot 330^2} = 0,042.$$

Индуктивное сопротивление линии Л1 и Л2 будет равно:

$$x_{*Л1} = \frac{x_0}{2} \cdot l \cdot \frac{S_6 \cdot (K_{АТ})^2}{U_6^2} = \frac{0,32}{2} \cdot 190 \cdot \frac{300 \cdot \left(\frac{347}{220}\right)^2}{330^2} = 0,208,$$

$$x_{*Л1} = x_{*Л2} = 0,208.$$

Найдем общее индуктивное сопротивление системы без УПК:

$$x'_{d\Sigma} = x'_d + x_T + x_{Л1} + x_{Л2} + x_{АТ} = 0,224 + 0,053 + 0,042 + 0,208 + 0,208 = 0,694.$$

Напряжение на шинах системы в относительных единицах

$$U = \frac{U_{НЛ}}{U_6} = \frac{330}{330} = 1.$$

Мощность нагрузки:

$$P_0 = \frac{P_H}{S_6} = \frac{300}{300} = 1, \quad Q_0 = \frac{Q_H}{S_6} = \frac{150}{300} = 0,5.$$

Переходная электродвижущая сила тогда:

$$E = \sqrt{\left(U + \frac{Q_0 \cdot x'_{d\Sigma}}{U}\right)^2 + \left(\frac{P_0 \cdot x'_{d\Sigma}}{U}\right)^2} = \sqrt{\left(1 + \frac{0,5 \cdot 0,694}{1}\right)^2 + \left(\frac{1 \cdot 0,694}{1}\right)^2} = 1,515.$$

Вычислим предельную передаваемую мощность системы:

$$P_{пр} = \frac{E' \cdot U}{x'_{d\Sigma}} = \frac{1,515 \cdot 1}{0,694} = 2,184.$$

Общее сопротивление системы с УПК будет равняться:

$$x'_{dУПК} = x'_{d\Sigma} - x_{УПК} = 0,694 - 0,1 = 0,594.$$

Тогда предельная передаваемая мощность с УПК увеличится:

$$P_{пр}^{УПК} = \frac{E' \cdot U}{x'_{dУПК}} = \frac{1,515 \cdot 1}{0,594} = 2,552.$$

Изменение предельной передаваемой мощности при включении УПК:

$$\Delta P_{пр} = \frac{P_{пр}^{УПК} - P_{пр}}{P_{пр}} \cdot 100\% = \frac{2,552 - 2,184}{2,184} \cdot 100\% = 16,845\%.$$

Степень компенсации:

$$k_c = \frac{x_{\text{упк}}}{x_{\text{л1}} + x_{\text{л2}}} = \frac{0,1}{0,208 + 0,208} = 0,24.$$

### Заключение

На основании проведенных расчетов, можно сделать вывод, что при включении УПК, обеспечивающей степень компенсации 0,24 предельная мощность по условию статической устойчивости увеличивается на 16,845%.

### Литература

- 1 Сайт Россети ФСК ЕЭС [Электронный ресурс] / Москва, 2007. – Режим доступа: [https://www.fsk-ees.ru/innovation/intelligent\\_network/new\\_types\\_of\\_power\\_equipment\\_of\\_substations\\_and\\_overhead\\_power\\_lines](https://www.fsk-ees.ru/innovation/intelligent_network/new_types_of_power_equipment_of_substations_and_overhead_power_lines). – Дата доступа: 20.03.2021.
2. Сайт Нефтегаз [Электронный ресурс] / Москва, 2000. – Режим доступа: <https://neftegaz.ru/tech-library/elektroseti/141581-ustroystva-prodolnoy-kompensatsii/>. – Дата доступа: 20.03.2021.
3. Сборник задач и примеры их решений / Е. В. Калентионюк [и др.]; под общ. ред. Е. В. Калентионюка. – Минск: БНТУ, 2007.