

## Промежуточный отбор мощности из полуволновой электропередачи

КОБЫЛИН А.В., САМОРОДОВ Г.И., ЗИЛЬБЕРМАН С.М., КОБЫЛИН В.П.,  
ЛИ-ФИР-СУ Р.П., АФАНАСЬЕВ Д.Е., ХОЮТАНОВ А.М., ДАВЫДОВ Г.И.

*Особенностью полуволновых электропередач является изменение напряжения в «электрическом центре» (1500 км) средней части линии от минимального значения в режиме холостого хода до максимального в режиме наибольшей загрузки. Это не позволяет в режиме малых нагрузок осуществлять параллельный отбор мощности на большей её части, исключая концевые зоны, где такой отбор возможен. Известны три способа присоединения трансформаторов для промежуточного отбора мощности из полуволновой электропередачи: параллельный (в концевых зонах), последовательный (в средней зоне) и последовательно-параллельный (в промежуточных зонах между концевой и средней). Рассмотрен новый способ и устройство на основе силовоточной электроники, позволяющее заменить три традиционных устройства и осуществлять промежуточный отбор в любой точке полуволновой электропередачи в различных режимах, включая предельные. Исследованы особенности режимов полуволновой линии при питании нагрузки в её промежуточных точках. Приведены схема и алгоритм расчета режимов в полуволновой линии.*

*Ключевые слова: полуволновая электропередача, отбор мощности, промежуточная нагрузка, режим напряжения, тиристорный стабилизатор параметров*

Параллельная работа энергосистем через настроенную линию электропередачи характеризуется высоким запасом статической устойчивости [1–3]. Настроенные на полуволну электропередачи по своим технико-экономическим характеристикам могут быть рекомендованы в качестве мощных транзитных электропередач на расстоянии 2000, 4000 км [4, 5]. Однако в определенных условиях целесообразно присоединение промежуточных электроэнергетических систем и автономных потребителей с целью взаимного обмена энергией или постоянного отбора мощности [6, 7].

Особенностью полуволновых электропередач является изменение напряжения в «электрическом центре» (1500 км) средней части линии от минимального значения в режиме холостого хода до максимального в режиме наибольшей загрузки. Это не позволяет в режиме малых нагрузок осуществлять параллельный отбор мощности на большей её части, исключая концевые зоны, где такой отбор возможен.

Известны три способа присоединения трансформаторов для промежуточного отбора мощности из полуволновой электропередачи (ПЭП): параллельный (в концевых зонах), последовательный (в средней зоне) и последовательно-параллельный (в промежуточных зонах между концевой и средней). В Институте физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН разработан четвертый способ и устройство на основе силовоточной электроники – тиристорный стабилизатор параметров, позволяющий заменить три традиционных устрой-

ства и осуществлять промежуточный отбор в любой точке ПЭП в различных режимах, включая предельные, к которым относятся режимы передачи натуральной мощности и холостого хода.

На рис. 1 представлена структурная схема унифицированного тиристорного стабилизатора параметров (ТСП) для осуществления промежуточного отбора мощности из ПЭП и способ его присоединения к ПЭП.

Устройство отбора мощности в средней части магистральной полуволновой электропередачи состоит из стабилизаторов напряжения и реактивных параметров нагрузки при изменении её мощности от нуля до максимальной.

Устройство стабилизации напряжения состоит из трансформатора вольтодобавочного канала 3, первичная обмотка которого присоединена одним концом параллельно к магистральной полуволновой линии электропередачи (ПЭП) 1–2, а другим концом присоединена последовательно с первичной обмоткой трансформатора связи 15, к вторичной обмотке которого присоединена промежуточная система с её нагрузками 4 и генераторами 5, из трансформатора тока 9, электронной системы управления 8, блока силовых тиристоров 6, регулируемого трансформатора 7.

Устройство стабилизатора реактивных параметров состоит из устройства измерения угла фазового сдвига 11, трансформатора тока 12 ПЭП 1–2, электронной системы управления 8, питающего трансформатора 10, блока силовых тиристоров 13,

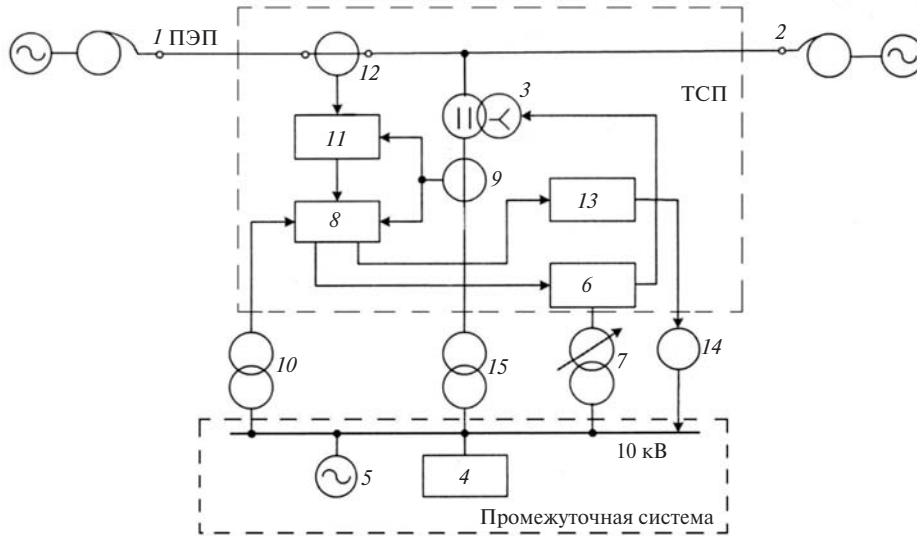


Рис. 1

синхронного компенсатора 14, присоединенного к промежуточной системе с нагрузками 4 и генераторами 5.

Устройство отбора мощности работает следующим образом. Изменение напряжения линии, например на 5% в сторону понижения, увеличивает соответственно ток в трансформаторах тока 9 и 12. Вторичная обмотка трансформатора тока 9 нагружена одним входом электронной системы 8 управления и вторым входом устройства 11 измерения угла фазового сдвига. Устройство электронной системы управления 8 получает электропитание от питающего трансформатора 10.

Вторичный ток трансформатора 9 преобразуется электронной системой управления 8 в сигнал управления комбинацией ключей блока 6 силовых тиристоров, через которые присоединяется регулируемая вторичная обмотка трансформатора 7 к вторичной обмотке трансформатора 1 вольтодобавочного канала для стабилизации напряжения через трансформатор связи 15 у нагрузок 4 промежуточной системы.

Стабилизация реактивных параметров у нагрузок 4 осуществляется путем сравнения входящих токов от трансформаторов 9 и 12 устройством 11 измерения угла фазового сдвига, которое подает сигнал управления через электронную систему управления 8 и блок 13 силовых тиристоров в систему возбуждения синхронного компенсатора 14 для балансировки режима реактивной мощности нагрузок с режимом магистральной полуволновой линии 1–2, обеспечивая при этом ей режим устойчивой передачи натуральной мощности.

**Схема и алгоритм расчета режимов в полуволновой линии.** Расчетная схема полуволновой электропередачи с нагрузкой в произвольной точке  $m$  и устройством реактивной мощности в пункте  $n$ , ко-

торое может потребоваться для введения режимов по условию напряжения в допустимую область, показана на рис. 2.

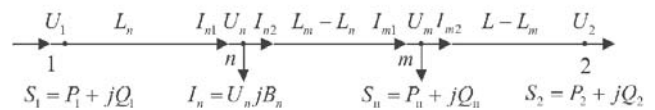


Рис. 2

В качестве исходной информации принимаются мощность и напряжение на приёмном конце полуволновой электропередачи, мощность нагрузки в промежуточной точке, которая в общем случае может включать мощность дополнительных компенсирующих устройств, необходимых по условию обеспечения приемлемого режима напряжений в любой точке линии. Кроме того, предусматривается установка устройств реактивной мощности в промежуточном пункте со стороны отправного конца линии.

Параметры линии заданы так, что коэффициенты четырехполюсника для участка линии длиной  $x$  определяются как

$$A(x) = \cosh gx; \quad B(x) = Z_B \sinh gx; \quad C(x) = \sinh gx / Z_B; \\ D(x) = A(x),$$

где  $g$  – коэффициент распространения;  $Z_B$  – волновое сопротивление линии.

Необходимо определить режимы в характерных точках: промежуточного отбора, пунктах установки устройства реактивной мощности и отправного конца линии.

Режим в месте отбора мощности в точке  $m$  (справа):

$$U_m = A(L - L_m)U_2 + B(L - L_m)I_2; \\ I_{m2} = C(L - L_m)U_2 + D(L - L_m)I_2,$$

где  $L$  – длина линии;  $L_m$  – расстояние от отправного конца линии до места отбора;  $I_2 = \bar{S}_2 / 3\bar{U}_2$  – ток на приёмном конце линии.

Режим в точке  $m$  (слева) определяется в зависимости от мощности отбора:

$$I_{m1} = I_{m2} + I_m; \quad I_m = \frac{\bar{S}_H}{U_m}; \quad S_H = P_H + jQ_H.$$

Для удобства активная мощность отбора выражена в долях натуральной мощности, определённой при напряжении на приёмном конце линии:

$$P_a = a_H P_{\text{нат}2} = a_H \frac{U_2^2}{Z_B},$$

где  $a_H$  – долевой коэффициент.

Реактивная мощность нагрузки определяется через её активную мощность:

$$Q_H = P_a k, \quad k = \operatorname{tg} j.$$

Режим в месте установки устройства реактивной мощности в точке  $n$  (справа):

$$U_n = A(L_m - L_n)U_m + B(L_m - L_n)I_{m1}; \\ I_{n2} = C(L_m - L_n)U_m + D(L_m - L_n)I_{m1},$$

где  $L_n$  – расстояние от отправного конца линии до места установки устройства реактивной мощности.

Режим в точке  $n$  (слева) определяется в зависимости от параметров устройства реактивной мощности:

$$I_{n1} = I_{n2} + I_n; \\ I_n = U_n iB_n,$$

где  $B_n$  – проводимость устройства реактивной мощности.

Режим на отправном конце линии в точке  $1$ :

$$U_1 = A(L_n)U_n + B(L_n)I_{n1}; \\ I_1 = C(L_n)U_n + D(L_n)I_{n1}; \\ S_1 = 3U_1 \bar{I}_1.$$

Режим напряжений в любой произвольной точке линии для участков:

2-  $m$ :

$$U_{2m}(x) = \cosh[g(L-x)]U_2 + Z_B \sinh[g(L-x)]I_2;$$

$n$ -  $m$ :

$$U_{nm}(x) = \cosh[g(L_m-x)]U_m + Z_B \sinh[g(L_m-x)]I_{m1};$$

1-  $n$ :

$$U_{n1}(x) = \cosh[g(L_n-x)]U_n + Z_B \sinh[g(L_n-x)]I_{n1}.$$

Общее выражение для распределения напряжений вдоль полуволновой электропередачи можно получить из функции Хевисайда:

$$U(x) = F(x-L_m)U_{2m}(x) + [F(x-L_n) - F(x-L_m)] \cdot \\ \cdot U_{mn}(x) + [F(x) - F(x-L_n)]U_{n1}(x),$$

где  $F(x)$  – ступенчатая функция Хевисайда, равная 1, если  $x \geq 0$ , а иначе – равная 0.

**Анализ режимов полуволновой линии при питании нагрузки в различных зонах линии.** В качестве характерных следует выделить зоны:

со стороны приёмного конца с питанием нагрузки в расчётных пунктах, отстоящих на 2500 и 2000 км от отправного конца;

средней части линии с питанием нагрузки в расчётных пунктах, отстоящих на 1700, 1500 и 1300 км от отправного конца;

со стороны отправного конца с питанием нагрузки в расчётных пунктах, отстоящих на 1000 и 500 км от отправного конца.

В качестве характерных режимов полуволновой линии рассматриваются режим холостого хода ( $P_2 = 0$ ) и передачи максимальной мощности, что примерно соответствует натуральной мощности на отправном конце линии при максимальном рабочем напряжении ( $P_{\text{нат}1} = 525^2 / 280 = 985$  МВт).

Активная составляющая мощности отбора принимается равной 30% ( $a_H = 0,3$ ) натуральной мощности приёмного конца, рассчитанной при минимальном рабочем напряжении ( $P_{\text{нат}2} = 475^2 / 280 = 805$  МВт):  $P_H = 240$  МВт. Более высокие значения активной мощности нагрузки не рассматриваются, поскольку в этом случае полуволновая линия используется не в полной мере по своему назначению. Более того, в этом случае может оказаться целесообразнее перевод её для работы по компенсированной схеме, представляющей цепочку обычных компенсированных линий.

Реактивная мощность нагрузки определяется при  $\cos j = 0,9$  и составляет  $Q_H = 120$  Мвар. Однако для обеспечения допустимых уровней напряжения в любой точке полуволновой линии может потребоваться дополнительное потребление реактивной мощности либо наоборот – её выдача в узлах подключения нагрузки в зависимости от расположения нагрузки, а это означает потребность в установке соответствующих устройств реактивной мощности в нагрузочных узлах.

*Расположение нагрузки в зоне со стороны приемного конца линии.* На рис. 3 приведена схема питания промежуточной нагрузки на расстоянии от начала полуволновой линии. В режиме холостого хода в конце линии (рис. 3,а) допустимый режим обеспечивается при скомпенсированной реактивной составляющей нагрузки. В режиме натуральной мощности в начале линии (рис. 3,б) компенсация реактивной составляющей нагрузки почти не требуется. В обоих случаях отбор мощности осуществляется с допустимым распределением напряжения вдоль полуволновой линии (рис. 3,в).

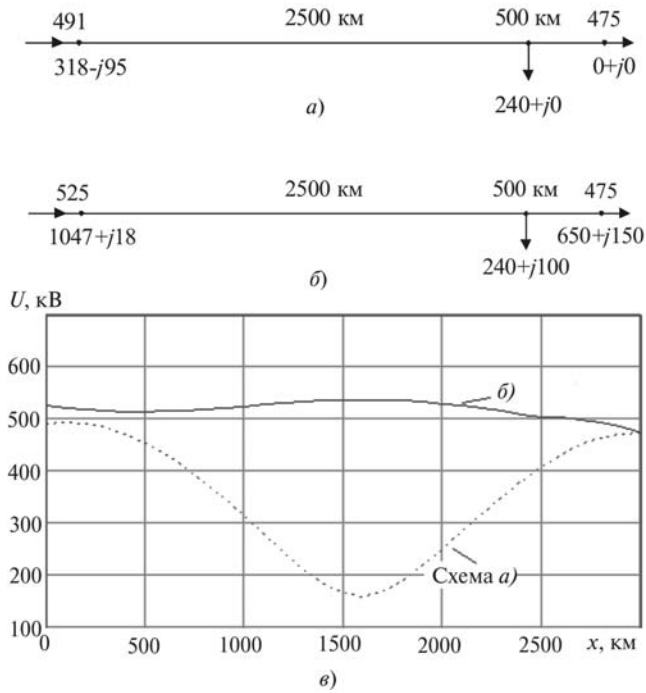


Рис. 3

Схема питания промежуточной нагрузки на расстоянии 2000 км от начала полуволновой линии приведена на рис. 4. Как и в предыдущем случае, в режиме холостого хода в конце линии (рис. 4,а) допустимый режим обеспечивается при скомпенсированной реактивной составляющей нагрузки. В режиме натуральной мощности в начале линии (рис. 4,б) наоборот требуется увеличение потребления реактивной мощности нагрузкой. При этих условиях удаётся осуществить отбор мощности с допустимым распределением напряжения вдоль полуволновой линии (рис. 4,в).

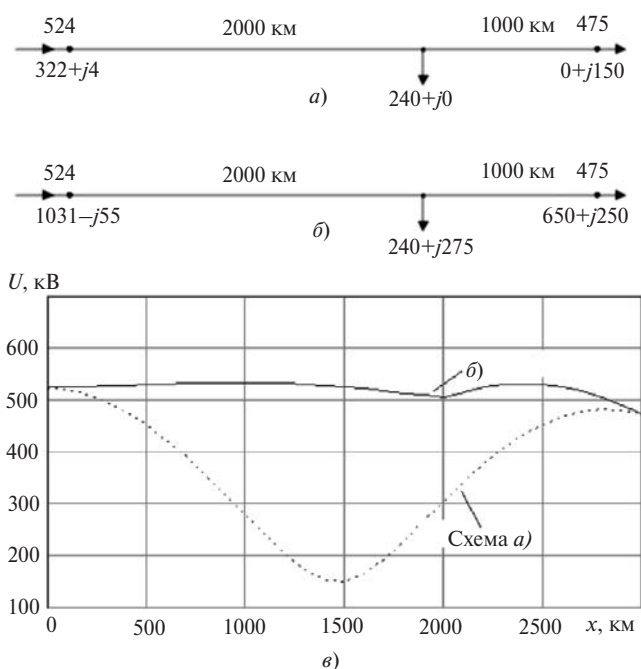


Рис. 4

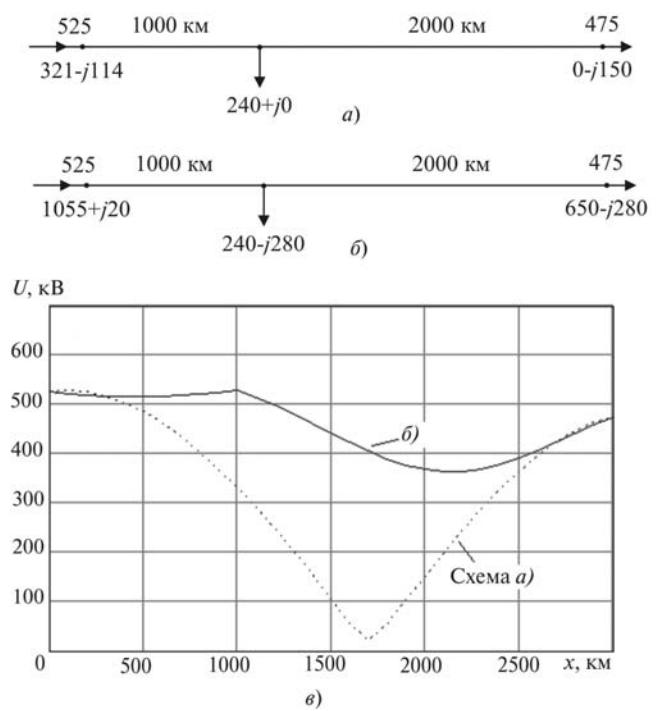


Рис. 5

Расположение нагрузки в зоне со стороны отправного конца полуволновой электропередачи. На рис. 5 приведена схема питания промежуточной нагрузки на расстоянии 1000 км от начала полуволновой линии. В режиме холостого хода в конце линии (рис. 5,а) допустимый режим напряжения обеспечивается при скомпенсированной реактивной составляющей нагрузки. В режиме натуральной мощности в начале линии (рис. 5,б) необходима выдача реактивной мощности в узле подключения нагрузки.

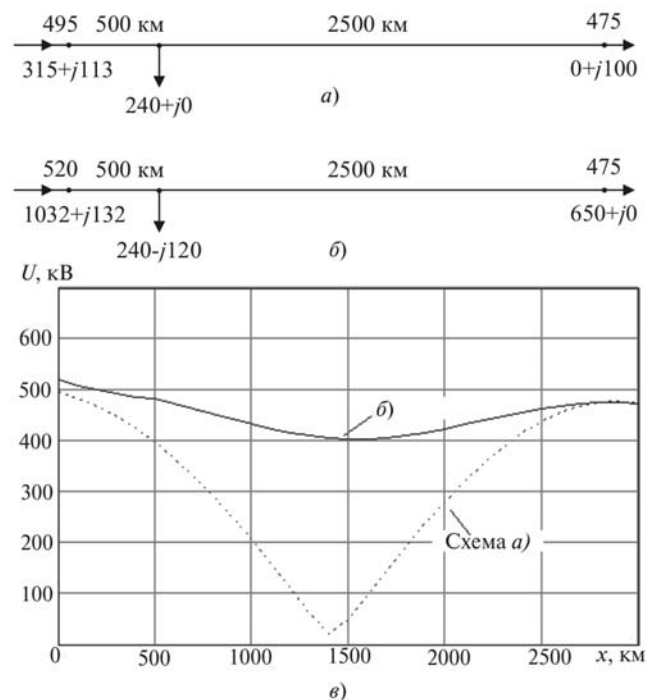


Рис. 6



Лишь при выполнении этих условий можно осуществлять отбор мощности с допустимым распределением напряжения вдоль полуволновой линии (рис. 5,в).

На рис. 6 приведена схема питания промежуточной нагрузки на расстоянии 500 км от начала полуволновой линии.

Как и в предыдущем случае, в режиме холостого хода в конце линии (рис. 6,а) допустимый режим напряжения обеспечивается при скомпенсированной реактивной составляющей нагрузки. В режиме натуральной мощности в начале линии (рис. 6,б) необходимая выдача реактивной мощности в узле подключения нагрузки уменьшается. Выполнение этих условий позволяет осуществить отбор мощности с допустимым распределением напряжения вдоль полуволновой линии (рис. 6,в).

*Расположение нагрузки в зоне средней части полуволновой линии.* На рис. 7 приведена схема питания промежуточной нагрузки на расстоянии 1700 км от начала полуволновой линии. В режиме холостого хода в конце линии (рис. 7,а) допустимый режим напряжения обеспечивается при небольшой компенсации реактивной составляющей нагрузки. В режиме натуральной мощности в начале линии (рис. 7,б) ни при каких значениях реактивной мощности в узле подключения нагрузки не удаётся обеспечить допустимое распределение напряжения вдоль полуволновой линии (рис. 7,в).

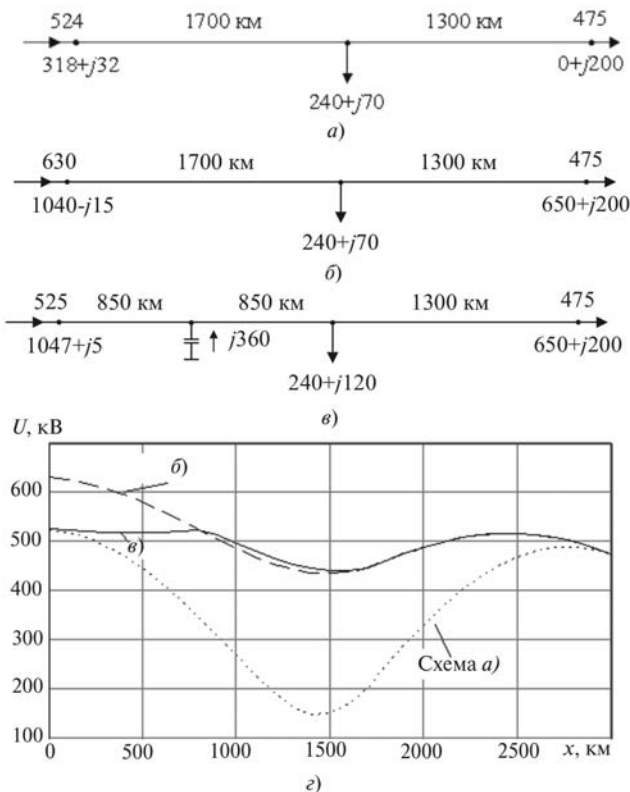


Рис. 7

Лишь установка шунтирующей конденсаторной батареи (ШКБ) на расстоянии от отправного конца линии (рис. 7,в) позволяет ввести режим напряжений в допустимую область (рис. 7,з).

На рис. 8 приведена схема питания промежуточной нагрузки в электрическом центре линии на расстоянии 1500 км от её начала. В режиме холостого хода в конце линии (рис. 8,а) для обеспечения допустимого режима требуется небольшое увеличение потребления реактивной мощности в узле подключения нагрузки. В режиме натуральной мощности в начале линии (рис. 8,б) ни при каких значениях реактивной мощности в узле подключения нагрузки не удаётся обеспечить допустимое распределение напряжения вдоль полуволновой линии (рис. 8,в). Как и в предыдущем случае, необходима установка шунтирующей конденсаторной батареи (ШКБ) на расстоянии 850 км от отправного конца линии (рис. 8,в) с доведением выдаваемой мощности до 430 Мвар. Лишь в этом случае удаётся ввести режим напряжений в допустимую область (рис. 8,з).

Схема питания промежуточной нагрузки на расстоянии 1300 км от начала полуволновой линии приведена на рис. 9. В режиме холостого хода в конце линии (рис. 9,а) необходима выдача сравнительно небольшой реактивной мощности в узле подключения нагрузки. В режиме натуральной

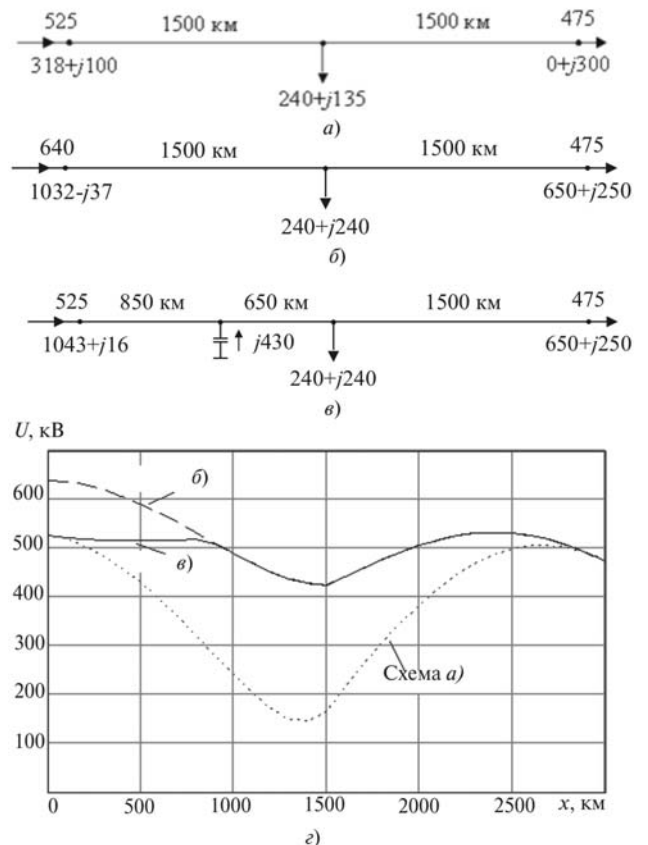


Рис. 8

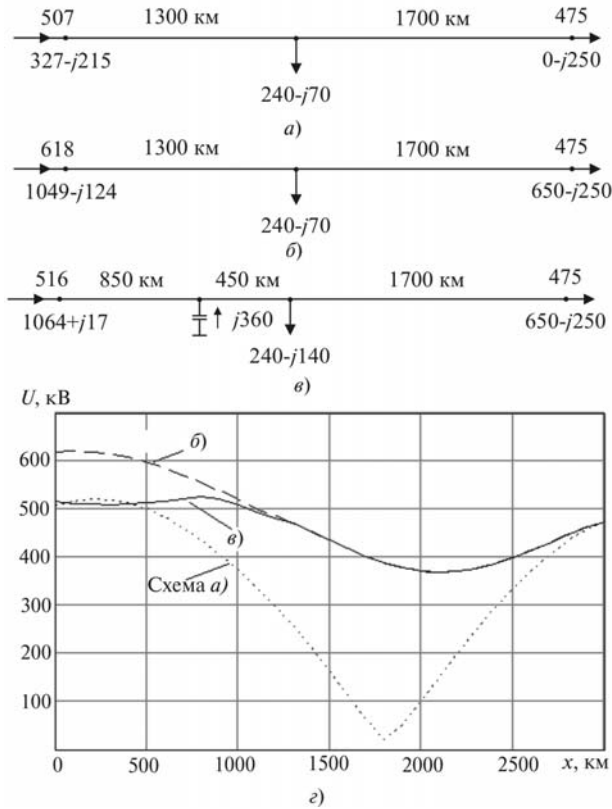


Рис. 9

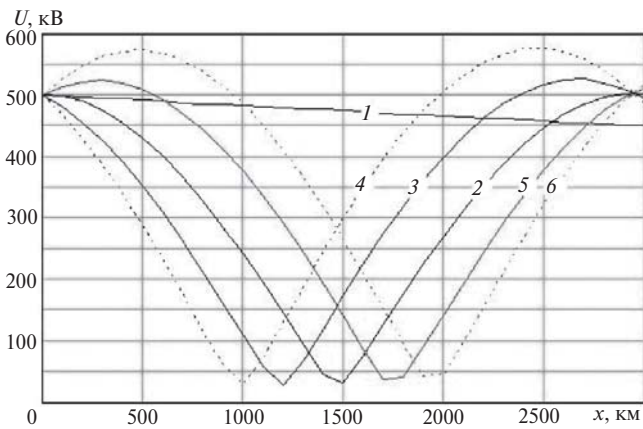


Рис. 10

мощности в начале линии (рис. 9,б) ни при каких значениях реактивной мощности в узле подключения нагрузки не удаётся обеспечить допустимое распределение напряжения вдоль полуволновой линии (рис. 9,з). Как и в предыдущих случаях, установка ШКБ на расстоянии 850 км от отправного конца линии (рис. 9,в) позволяет ввести режим напряжений в допустимую область (рис. 9,з).

Следует отметить, что при питании нагрузки в зоне средней части линии требуется потребление или выдача реактивной мощности на приёмном конце линии в пределах 200–300 Мвар.

В режиме передачи по линии натуральной мощности следует учесть, что для допустимого уровня

напряжения в любой точке ПЭП может потребоваться дополнительное потребление реактивной мощности или наоборот – её выдача в узлах подключения нагрузки в зависимости от расположения нагрузки, а это означает необходимость в установке соответствующих устройств реактивной мощности в нагрузочных узлах.

На рис. 10 показано распределение напряжения вдоль полуволновой электропередачи в зависимости от активной и реактивной мощности в начале линии [1 – режим натуральной мощности:  $P = 892$  МВт,  $Q = -30$  Мвар; 2 – режим холостого хода:  $P = 0$ ,  $Q = 0$ ,  $U_{1500} = 31$  кВ; 3 – то же:  $P = 0$ ,  $Q = 275$  Мвар,  $U_{1500} = 173$  кВ,  $U_{2700} = 525$  кВ; 4 – то же:  $P = 0$ ,  $Q = 500$  Мвар,  $U_{1500} = 298$  кВ (уровень напряжения в конечной зоне недопустимый); 5 – то же:  $P = 0$ ,  $Q = -275$  Мвар,  $U_{1500} = 140$  кВ,  $U_{300} = 525$  кВ; 6 – то же:  $P = 0$ ,  $Q = -500$  Мвар,  $U_{1500} = 264$  кВ (уровень напряжения в начальной зоне недопустимый)].

Как следует из рис. 10, потребление или выдача реактивной мощности в начале полуволновой электропередачи  $Q = \pm 275$  Мвар в режиме холостого хода в конце линии является обязательным условием обеспечения в «электрическом центре» средней части полуволновой электропередачи (1500 км) уровня напряжения 140, 173 кВ, достаточного для осуществления промежуточного отбора мощности тиристорным стабилизатором параметров параллельно-последовательным способом. Режим напряжения в начальной и конечной зонах находится в допустимых пределах.

**Выводы.** 1. Традиционно известны три способа присоединения трансформаторов для промежуточного отбора мощности из полуволновой электропередачи: параллельный, последовательный и последовательно-параллельный. Предложенный способ и устройство на основе силовоточной электроники – тиристорный стабилизатор параметров, позволяют заменить три традиционных устройства и осуществлять промежуточный отбор в любой точке ПЭП в различных режимах, включая предельные, к которым относятся режимы передачи натуральной мощности и холостого хода.

2. В режиме передачи натуральной мощности допустимый уровень напряжения вдоль линии обеспечивается при выдаче дополнительной реактивной мощности шунтирующей конденсаторной батареей, установленной на расстоянии 850 км от отправного конца линии при промежуточном отборе в средней части линии.

3. В режиме холостого хода потребление или выдача реактивной мощности по концам линии в пределах  $0,3P_H$  линии обеспечивает уровень напряжения в средней части линии (1500 км) 140, 173 кВ, что достаточно для осуществления промежуточного

отбора мощности с помощью устройства тиристорного стабилизатора параметров.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Зильберман С.М.** Обоснование схем и исследование режимов полуволновых связей Сибирь—Урал: Автореф. дис... канд. техн. наук. — Красноярск, 2004, 21 с.
2. **Зильберман С.М.** Методические и практические вопросы полуволновой технологии передачи электроэнергии: Автореф. дис... доктора техн. наук. — Красноярск, 2009, 39 с.
3. **Зильберман С.М., Самородов Г.И.** Сверхдальние электропередачи полуволнового типа. — Новосибирск: Новосиб. гос. акад. вод. транспорта, 2010, 327 с.
4. **Samorodov G., Krasilnikova T., Zilberman S., Iatsenko R., Kobylin V., Drujinin A.** Consideration on Technical-Economic and Reliability Performance of the Transmission System from South-Yakutia Hydro Power Complex to Korea. — Proc. of the 3rd Intern. Conf. «Energy Cooperation in Northeast Asia: Prerequisites, Conditions, Ways». September 9–13, 2002, Irkutsk (Russia). — Irkutsk: Energy System Institute, 2002, pp. 198–203.
5. **Kobylin V.P., Samorodov G.I., Zilberman S.M., Li-Fir-Su R.P., Kobylin A.V.** New approaches to development and formation of electric communications of Yakutia with associations of Siberia, the East and the countries of Northeast Asia of a bottom prospect till 2030. — Proc. of the 6th Int. Conf. «Asian Energy Cooperation: Forecasts and Realities». September 8–11, 2008, Irkutsk (Russia). — Irkutsk: Energy System Institute, 2008, pp. 246–251.
6. **Кобылин В.П., Седалищев В.А., Ли-Фир-Су Р.П., Кобылин А.В.** Применение регулятора-стабилизатора тиристорной системы для снижения потерь напряжения и мощности в условиях протяженных ВЛ. — Электричество, 2007, № 6, с. 2–6.
7. **Кобылин А.В.** Способы отбора мощности от линии электропередачи полуволнового типа и стабилизации напряжения на промежуточной подстанции линии отбора (сценарий на примере связи Усть-Илимская ГЭС – Колымская ГЭС). — Труды VI Евразийского симпозиума по проблемам прочности материалов и машин для регионов холодного климата, 24–29 июня 2013 г. — Якутск, 2013, т. 5, с. 54–59.

[24.02.15]

*Авторы: Кобылин Андрей Витальевич окончил энергетический факультет Якутского государственного университета (ЯГУ) в 2006 г. Ведущий инже-*

*нер-электроник отдела электроэнергетики Института физико-технических проблем Севера (ИФТПС) им. В.П. Ларионова СО РАН.*

*Самородов Герман Иванович окончил в 1963 г. электроэнергетический факультет Новосибирского электротехнического института. В 1990 г. защитил докторскую диссертацию «Оптимизация схем и параметров дальних и сверхдальних электропередач переменного тока». Научный руководитель отдела новых технологий филиала ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС»—СибНИИЭ.*

*Зильберман Самуил Моисеевич окончил в 1968 г. электроэнергетический факультет Красноярского политехнического института. В 2009 г. защитил докторскую диссертацию «Методические и практические вопросы полуволновой технологии передачи электроэнергии». Генеральный директор МЭС Сибири.*

*Кобылин Виталий Петрович окончил Томский политехнический институт в 1969 г. В 2003 г. защитил докторскую диссертацию «Повышение надежности и эффективности транспорта электроэнергии в условиях Севера» в ИСЭМ СО РАН. Заведующий отделом электроэнергетики ИФТПС СО РАН.*

*Ли-Фир-Су Роза Петровна окончила факультет электронной техники Новосибирского электротехнического института в 1978 г. Научный сотрудник отдела электроэнергетики ИФТПС СО РАН.*

*Афанасьев Дмитрий Егорович окончил Московскую сельскохозяйственную академию им. К.А. Тимирязева в 1961 г. В 1995 г. защитил докторскую диссертацию «Энергосбережение в сельском хозяйстве Якутии» в Московском агропромышленном университете им. В.П. Горячкина. Ведущий научный сотрудник отдела электроэнергетики ИФТПС СО РАН.*

*Хюютанов Александр Михайлович окончил энергетический факультет ЯГУ в 2010 г. Ведущий инженер отдела электроэнергетики ИФТПС СО РАН.*

*Давыдов Геннадий Иванович окончил энергетический факультет ЯГУ в 2004 г. Младший научный сотрудник отдела электроэнергетики ИФТПС СО РАН.*

*Elektrichestvo (Electricity), 2015, No. 6, pp. 4–11.*

## Intermediate Power Tapping from a Half-wave Power Transmission Line

**A.V. KOBYLIN, G.I. SAMORODOV, S.M. ZIL'BERMAN, V.P. KOBYLIN, R.P. LI-FIR-SU, D.E. AFANAS'YEV, A.M. KHOYUTANOV, and G.I. DAVYDOV**

*One specific feature of half-wave power transmission lines is that the voltage at the so-called “electrical center” (1500 km) in the line middle part varies from the minimal value in the no-load mode to the maximal value in the maximum load mode. In view of this circumstance, it is not possible to organize parallel power tapping in the major part of the line, except for the end zones, in which such tapping is possible. There are three known methods of connecting transformers for intermediate power tapping from a half-wave transmission line: a parallel one (in the end zones), a series one (in the middle zone) and series-parallel one (in intermediate parts between the end and middle zones). A new method and device on the basis of power electronics are considered, the use of which makes it possible to replace the above-mentioned three conventional devices and implement intermediate tapping of power at any point of a*

*half-wave transmission line in different modes of its operation, including the extreme ones. The specific features of half-wave transmission line operating modes with supplying power to load at intermediate points of the line are investigated. The scheme and algorithm for calculating operating modes in a half-wave transmission line are presented.*

**Key words:** *half-wave power transmission line, power tapping, intermediate load, voltage operating conditions, thyristor stabilizer of parameters*

---

REFERENCES

1. **Zel'berman S.M.** *Obosnovaniye skhem i issledovaniye rezhimov poluvolnovykh svyazey Sibir' – Ural: Avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk.* (Justification schemes and study made half-wave communications Siberia–Ural. An abstract of a thesis of Cand. Sci. (Eng.)). Krasnoyarsk, 2004, 21 p.

2. **Zil'berman S.M.** *Metodicheskiye i prakticheskiye voprosy poluvolnovoi tekhnologii peredachi elektroenergii: Avtoref. dis.... doctora tekhn. nauk* (Methodical and practical questions of the half-wave power transmission technologies. An abstract of a thesis of Dr. Sci. (Eng.)). Krasnoyarsk, 2009, 39 p.

3. **Zil'berman S.M., Samorodov G.I.** *Sverkhdal'niye elektroperedachi poluvolnovogo tipa* (Ultra-long power transmission half-wave type). Novosibirsk, Publ. Novosibirsk State Water Transport Academy, 2010, 327 p.

4. **Samorodov G., Krasilnikova T., Zilberman S., Iatsenko R., Kobylin V., Drujinin A.** Consideration on Technical-Economic and Reliability Performance of the Transmission System from

South-Yakutia Hydro Power Complex to Korea. – Proc. of the 3rd Intern. Conf. «Energy Cooperation in Northeast Asia: Prerequisites, Conditions, Ways». September 9–13, 2002, Irkutsk (Russia). – Irkutsk: Energy System Institute, 2002, pp. 198–203.

5. **Kobylin V.P., Samorodov G.I., Zilberman S.M., Li-Fir-Su R.P., Kobylin A.V.** New approaches to development and formation of electric communications of Yakutia with associations of Siberia, the East and the countries of Northeast Asia of a bottom prospect till 2030. – Proc. of the 6th Int. Conf. «Asian Energy Cooperation: Forecasts and Realities». September 8–11, 2008, Irkutsk (Russia). – Irkutsk: Energy System Institute, 2008, pp. 246–251.

6. **Kobylin V.P., Sedalishchev V.A., Li-Fir-Su, Kobylin A.V.** *Elektrichestvo – in Russ. (Electricity)*, 2007, No. 6, pp. 2–6.

7. **Kobylin A.V.** *Trudy VI Evraziiskogo simpoziuma po problemam prochnosti materialov i mashin dlya regionov kholodnogo klimata – in Russ.* (Proc. of the VI Eurasian symposium on the strength of materials and machines for cold climate regions). June 24–29, 2013. Yakutsk, vol. 5, pp. 54–59.

*Authors: Kobylin Andrei Vital'yevich (Yakutsk, Russia) – Leading Engineer of the Department at the Institute of Physical and Technical Problems of the North of the Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (IPhTPN SB RAS).*

*Samorodov German Ivanovich (Novosibirsk, Russia) – Dr. Sci. (Eng.), Scientific Director of Department of the Siberian Scientific and Researcher Energy Institute.*

*Sil'berman Samuil Moiseyevich (Krasnoyarsk, Russia) – Dr. Sci. (Eng.), Director General of the Inter-regional Electrical Networks of Siberia.*

*Kobylin Vitalii Petrovich (Yakutsk, Russia) – Dr. Sci. (Eng.), Head of the Department at the IPhTPN SB RAS.*

*Li-Fir-Su Roza Petrovna (Yakutsk, Russia) – Scientific Researcher of the Department at the IPhTPN SB RAS.*

*Afnas'yev Dmitrii Yegorovich (Yakutsk, Russia) – Dr. Sci. (Eng.), Leading Scientific Researcher of the Department at the IPhTPN SB RAS.*

*Khoyutanov Aleksandr Mikhailovich (Yakutsk, Russia) – Leading Engineer of the Department at the IPhTPN SB RAS.*

*Davydov Gennadii Ivanovich (Yakutsk, Russia) – Junior Scientific Researcher of the Department at the IPhTPN SB RAS.*