

К ВОПРОСУ О ДЛИННЫХ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЯХ

О. Б. ТОЛПЫГО

1. В связи со сталинскими великими стройками коммунизма стал вопрос о необходимости передачи электроэнергии на расстояния порядка 1000 км и более. В дальнейшем эти расстояния значительно увеличатся при использовании богатых энергетических запасов Сибири и Дальнего Востока.

Все это делает проблему увеличения дальности передачи электроэнергии весьма актуальной. Передача значительных мощностей переменным током на большие расстояния ограничивается большой величиной реактивного сопротивления воздушной линии, которое определяет устойчивость параллельной работы и вызывает значительный перепад напряжений между началом и концом линий. Падение напряжения между концами длинной линии можно значительно снизить, если работать в режиме передачи натуральной мощности. Натуральная мощность характеризует пропускную способность линии

$$P_n = \frac{U^2}{Z_c},$$

где P_n — натуральная мощность,
 U — линейное напряжение,
 Z_c — волновое сопротивление.

Волновое сопротивление воздушных линий является величиной постоянной $\sim 400 - 380$ ом без расщепления проводов, а для линии с расщепленными проводами ~ 250 ом.

Таким образом, при принятом напряжении электропередач великих строек в 400 кВ [1] пропускная способность при расщепленных проводах составит 640000 квт на одну цепь [1].

Реактивное сопротивление является основным фактором, определяющим устойчивость параллельной работы. Предел статической устойчивости определяется выражением

$$P_m = \frac{EU}{X_c},$$

где E — э.д.с. генераторов передающей станции,
 U — напряжение на шинах приемной подстанции,
 X_c — реактивное сопротивление электропередачи, значительную долю которого составляет реактивное сопротивление линии.

Чтобы обеспечить устойчивость параллельной работы для воздушных линий длиной свыше 300 км, приходится применять устройства, компенсирующие реактивность воздушной линии. Но эффективность этого мероприятия для воздушных линий электропередач длиной 1000 км и более будет сравнительно невелика, так как режим работы таких длинных воздушных линий приближается к практически неустойчивому режиму — режиму передачи четвертью волны. Уменьшение величины реактивного сопротивления линии натолкнуло на мысль о выяснении возможности применения

кабелей для передачи электроэнергии на большие расстояния, так как кабели имеют волновое сопротивление порядка 50—70 ом и значительно меньшую индуктивность, чем воздушные линии.

2. На кафедре электрических сетей и систем были проведены расчеты режимов работы кабельных длинных линий. Расчеты были произведены для кабелей сечением 700 мм², 1000 мм², 1500 мм² на напряжение 220 кв.

В качестве примера можно привести параметры кабеля сечением 1000 мм².

$$r_o = 0,0175 \text{ ом км},$$

$$x_o = 0,125 \text{ ом км},$$

$$b_o = 0,384 \cdot 10^{-4} \text{ 1 ом км},$$

$$z_c = 62 \text{ ом},$$

$$D = 100 \text{ мм (внешний диаметр)}.$$

В настоящее время разработаны конструкции кабелей для переменного тока на напряжение 380 кв. Кабели — одножильные. Как видно из параметров кабеля, волновое сопротивление такого кабеля составляет всего 62 ом, а потому пропускная способность кабельной электропередачи при напряжении 220 кв выше, чем пропускная способность воздушной линии с расщепленными проводами при напряжении 400 кв.

Таблица 1

Вид электропередачи	Напряжение кв	Волновое сопротивление	Пропускная способ- ность квт
Воздушная линия	400	250	640000
Кабельная линия	220	62	780000

Кроме увеличения пропускной способности кабельной линии, необходимо учесть то, что рабочее напряжение 220 кв позволяет применять ту электроаппаратуру, которая освоена производством, и в отношении которой имеется достаточный опыт эксплуатации.

3. Рассмотрим далее вопрос об устойчивости параллельной работы. Кабельная линия и в этом отношении оказывается гораздо выгоднее, чем воздушная при длинах 1000 км и более.

Дело в том, что длина волны в кабельных линиях достигает величины до 2600—2800 км. Следовательно, кабельные электропередачи длиной 1000—1700 км приближаются к длинам, равным полуволне. А, как известно, режим передачи полуволной является устойчивым без применения каких бы то ни было компенсирующих устройств. Режим передачи полуволной — это режим работы линии с длиной, равной нулю. Это значит, что работа кабельных линий с длинами, близкими к полуволне, будет устойчивой.

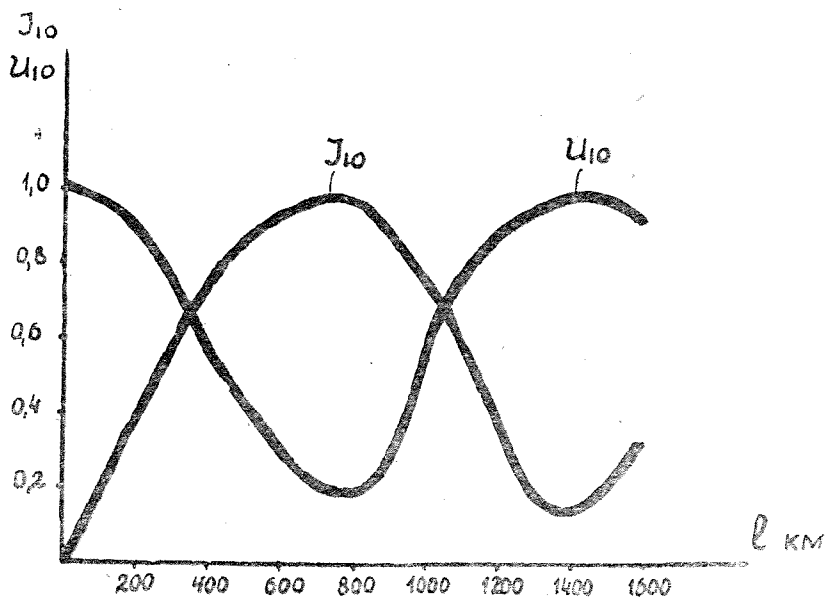
4. При рассмотрении длинных кабельных линий естественно возникает вопрос о величине емкостных токов, возникающих в таких линиях. Так как такая длинная линия обладает значительной емкостью, то и емкостные токи, следовательно, должны достигать значительных величин. Однако, как показали расчеты, величина емкостных токов при длинах 1000—1700 км, т. е. при длинах, близких к полуволне, сравнительно невелика, что иллюстрируется нижеприведенными кривыми (фиг. 1).

Величина тока холостого хода при длине кабельной линии, равной полуволне, достигает только 300 а.

5. Далее рассматривались режимы работы кабельной линии при различных коэффициентах мощности нагрузки — 1,0; 0,9; 0,8.

Наиболее выгодным является режим при коэффициенте мощности, равном 1,0 так как при этом режиме получается наивысший к.п.д. и, что особенно важно, напряжение вдоль линии распределяется равномерно.

Чем ниже коэффициент мощности, тем ниже к.п.д. и больше перенапряжения, возникающие на линии.



Фиг. 1

При $\cos \varphi = 0,8$ и $P = P_n$ перенапряжения достигают величины $U = 1,4 U_n$.

Величины к.п.д. кабельной линии следующие (табл. 2).

Таблица 2

$\cos \varphi$	к.п.д. %
1	82
0,9	78
0,8	73

6. Несколько слов об экономической стороне вопроса. Грубо произведенные экономические расчеты (точные данные о стоимости кабелей 220 кВ в литературе отсутствуют) показывают, что стоимость кабельной линии 220 кВ (с учетом прокладки) длиной 1200—1300 км выше стоимости воздушной линии 400 кВ в два раза. Однако стоимость кабельной линии может быть сокращена приблизительно на 20% за счет применения механизации для рытья траншей.

Выводы

1. Кабельные линии на расстояния 1000—1700 км имеют перед воздушными линиями то преимущество, что имеют большую пропускную способность при напряжении 220 кВ, чем воздушные линии с расщепленными проводами на напряжении 400 кВ.

2. Кабельные линии длиной 1000—1700 км исключают проблему устойчивости параллельной работы, так как режим их близок к режиму полуволны.

Воздушные линии при таких длинах не могут осуществить устойчивую работу, так как близки к режиму четверти волны, который совершенно неустойчив.

3. Имеется возможность применения для кабельных линий 220 кВ аппаратуры, уже выпускаемой нашими заводами и по которой имеется достаточный опыт эксплуатации.

4. Наиболее выгодный режим передачи электроэнергии по кабельным линиям получается при $\cos\varphi = 1$, когда к.п.д. наиболее высок и распределение напряжения вдоль линии равномерное.

5. Кабельная линия дороже воздушной, эксплуатация ее сложнее.

6. Кабельная линия требует значительного расхода меди.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. В. Мирюлюбов, С. С. Рокотян. Линия электропередачи 400 кВ Куйбышев — Москва 1. Электричество № 7, 1952
-