

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Цель работы: изучение эксплуатационных характеристик линии электропередачи переменного тока; экспериментальное определение параметров потребителя; исследование режимов работы ЛЭП при компенсации индуктивности.

Краткие сведения из теории

При передаче электроэнергии на расстояние неизбежны потери напряжения и мощности, обусловленные сопротивлением проводов линии электропитания. Пропускная способность линии ограничивается допустимой токовой нагрузкой на жилы проводов и кабелей по условиям нагрева, а также допустимой потерей напряжения. Экономичность линии определяется из соотношения между капитальными затратами на её сооружение и стоимостью электроэнергии, теряемой на нагрев проводов при её эксплуатации. Минимуму суммарных затрат соответствует так называемая «экономическая плотность тока».

Выбор сечения проводов производится из следующих условий:

- по экономической плотности тока;
- допустимым длительным токовым нагрузкам на жилы проводов и кабелей (из условий нагрева);
- допустимой потере напряжения в линии;
- механической прочности.

Провода и жилы кабелей должны также выдерживать кратковременный перегрев и механические усилия, возникающие при коротких замыканиях, без нарушения изоляции и механического разрушения.

На проводах высоковольтных линий не должен возникать коронный разряд.

Экономическая плотность тока является основным условием для выбора сечения проводов линий электропередачи, значительную часть суток находящихся под током. Рекомендуемые значения приводятся в справочных таблицах нормативного документа «Правила устройства электроустановок» (ПУЭ) [5] в зависимости от вида линии (провода или жилы кабелей), материала (медь или алюминий) и продолжительности работы (часов в год).

Допустимая токовая нагрузка является основным условием для выбора сечения проводов и жил кабелей коротких линий, питающих

отдельных потребителей, работающих в кратковременном или повторно-кратковременном режиме. Температура проводов не должна превышать допустимого значения даже в жаркое время года, иначе их изоляция быстро «состарится». Для медных и алюминиевых проводов и жил кабелей различных сечений в ПУЭ приводятся допустимые длительные токовые нагрузки в зависимости от материала изоляции и условий прокладки. Обычно при расчёте коротких линий сечение проводов выбирается по допустимой длительной токовой нагрузке, а затем проверяется по допустимой потере напряжения и, при необходимости, увеличивается. Сечение проводов длинных линий целесообразно сразу выбирать исходя из условия допустимого падения напряжения.

Потери напряжения в проводах линии вызывают колебания напряжения на зажимах потребителя. При отключении потребителей напряжение возрастает, при подключении – падает. Отклонение напряжения ухудшает работу электрических ламп. Например, снижение напряжения на 10 % уменьшает световой поток ламп накаливания на 30 %; повышение же на 10 % сокращает срок службы ламп на 60 %. Менее чувствительны люминесцентные лампы, но и на них вредно отражаются отклонения напряжения от номинального значения. Вращающий момент асинхронного электродвигателя при снижении напряжения питания резко уменьшается, и он может не запуститься под нагрузкой. Даже кратковременный импульс повышенного напряжения может вывести из строя электронную аппаратуру, в том числе и компьютер.

Допустимые колебания напряжения на зажимах потребителя регламентируются в пределах $\pm 2,5-5\%$, в отдельных случаях допускается кратковременное снижение напряжения питания потребителя на 10–12 %.

Механическая прочность является основным критерием для воздушных линий и открытых электропроводок малой мощности.

Определение потерь напряжения и мощности в линии передачи переменного тока при подключении к ней потребителя с полной мощностью S и коэффициентом мощности $\cos\varphi$ проведем с использованием приближенных формул.

Схема замещения линии электропередачи представлена на рисунке 1.

Активная P и реактивная Q мощности такого потребителя

$$P = S \cos \varphi ; Q = S \sin \varphi .$$

Активное r и индуктивное x сопротивления линии

$$r = 2lr_0; \quad x = 2lx_0,$$

где l – длина линии, км;

r_0 и x_0 – километрические сопротивления проводов линии, Ом/км.

Ток потребителя

$$I = \frac{S}{U}.$$

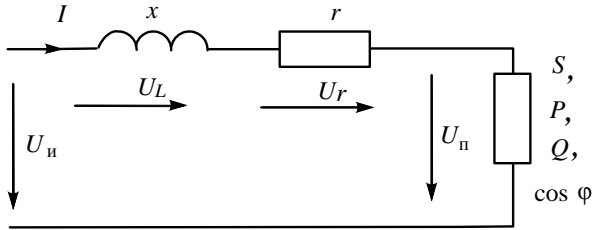


Рисунок 1 – Схема замещения линии электропередачи

Напряжение источника $U_{и}$ можно получить, если к напряжению потребителя $U_{п}$ добавить напряжение на активном сопротивлении проводов $U_r = rI$, а также напряжение на реактивном сопротивлении проводов $U_L = xI$ (рисунок 2):

$$\vec{U}_{и} = \vec{U}_{п} + \vec{U}_r + \vec{U}_L.$$

Потеря напряжения приблизительно равна сумме проекций векторов U_r и U_L на горизонтальную ось (рисунок 2):

$$\Delta U \approx rI \cos \varphi + xI \sin \varphi.$$

Относительная потеря напряжения

$$\begin{aligned} \Delta u_{\%} &\approx \frac{\Delta U}{U} \cdot 100\% = \frac{rI \cos \varphi + xI \sin \varphi}{U} \cdot 100\% = \\ &= \frac{rP + xQ}{U^2} \cdot 100\% = 2l \frac{r_0 P + x_0 Q}{U^2} \cdot 100\%. \end{aligned}$$

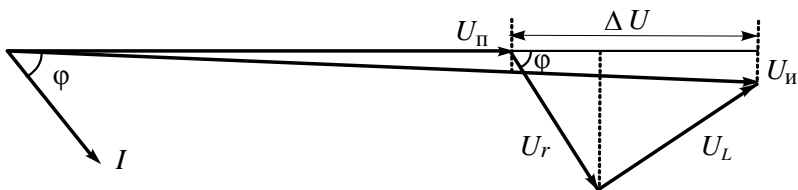


Рисунок 2 – Векторная диаграмма линии электропередачи

Потеря мощности в линии электропередачи

$$\Delta P = rI^2.$$

Относительная потеря мощности

$$\begin{aligned} \Delta p_{\%} &\approx \frac{\Delta P}{P} \cdot 100\% = \frac{rI^2}{UI \cos \varphi} \cdot 100\% = \frac{rUI \cos \varphi}{U^2 \cos^2 \varphi} \cdot 100\% = \\ &= \frac{rP}{U^2 \cos^2 \varphi} \cdot 100\% = 2l \frac{r_0 P}{U^2 \cos^2 \varphi} \cdot 100\%. \end{aligned}$$

Измерительные приборы и оборудование

Для измерения мощности в лабораторном цикле применяются приборы электродинамической и ферродинамической систем. Они состоят из неподвижной катушки и расположенной внутри неё подвижной катушки. Вращающий момент возникает вследствие взаимодействия токов катушек через создаваемые ими магнитные поля. Ферродинамические приборы имеют сердечники для усиления магнитных полей. Противодействующий момент создаётся спиральными пружинками (или растяжками), через которые ток подаётся во внутреннюю катушку. Угол отклонения стрелки ваттметра пропорционален произведению силы тока на напряжение с учётом косинуса угла сдвига фаз между ними. Электродинамические и ферродинамические приборы отличаются высокой точностью и пригодностью к работе как в цепях переменного, так и постоянного тока.

Порядок выполнения работы

1 Собрать схему для определения параметров потребителя по рисунку 3, используя переключки для коммутации (места установки переключек выделены на схеме).

2 Тумблером SA3 подключить функциональный блок для определения параметров потребителя. (*Примечание* – Тумблер SA4 должен находиться в выключенном положении). С помощью автотрансформатора TV2 (ЛАТР) установить напряжение $U = 110$ В (по показанию вольтметра PV3) и измерить ток и мощность. Результаты измерений внести в таблицу 1.

Таблица 1 – Параметры потребителя

Измерено			Рассчитано		
U , В	I , А	P , Вт	S , ВА	Q , вар	$\cos\varphi$
110					

3 Рассчитать полную S и реактивную Q мощности, а также коэффициент мощности $\cos\varphi$.

4 Пользуясь значениями сопротивлений x_L и $R17$, определёнными в лабораторной работе № 2, рассчитать напряжения U_r и U_L на элементах схемы замещения линии. Построить векторную диаграмму.

5 По приближенным формулам рассчитать потери напряжения $\Delta u\%$ и мощности $\Delta p\%$.

6 Рассчитать значение ёмкости C , требуемое для компенсации реактивной мощности потребителя Q :

$$C = \frac{Q}{\omega U^2}.$$

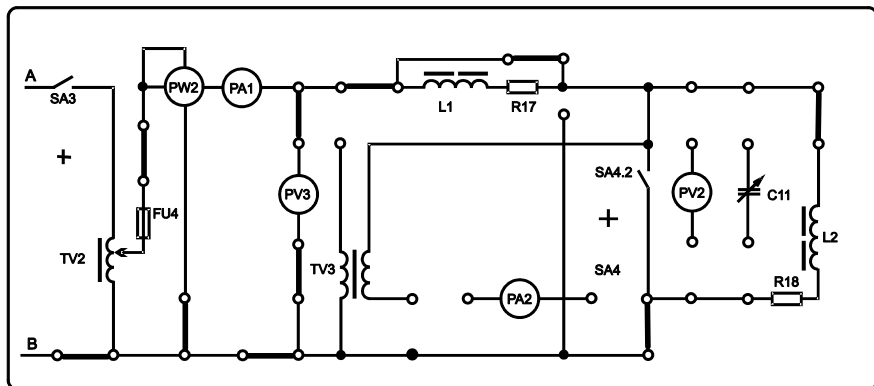


Рисунок 3 – Схема для определения параметров потребителя

7 Собрать схему для исследования передачи энергии по линии по рисунку 4.

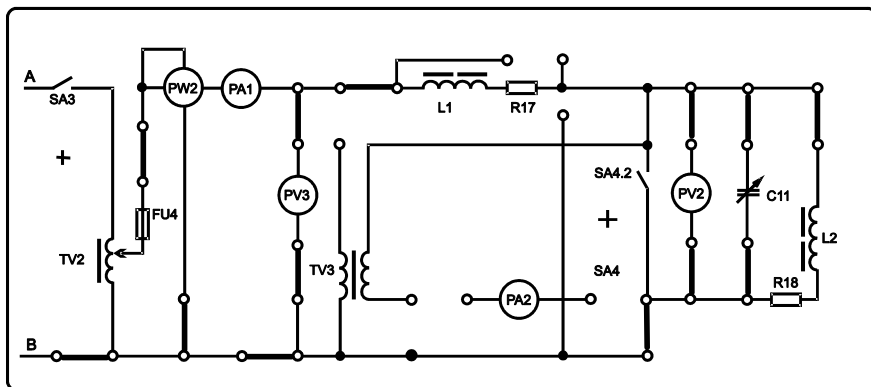


Рисунок 4 – Схема для исследования передачи электроэнергии по линии

8 Изменяя ёмкость конденсатора C_{11} от 0 до удвоенного требуемого значения, подбирать автотрансформатором $TV2$ (ЛАТР) напряжение источника $U_{и}$ так, чтобы напряжение на потребителе $U_{п}$ равнялось 110 В. Измерить значения силы тока и мощности. Результаты измерений внести в таблицу 2.

Таблица 2 – Исследование передачи электроэнергии по линии

C, мкФ	Измерено				Рассчитано	
	$U_{и}$, В	$U_{п}$, В	I , А	P , Вт	ΔU , В	$\Delta u_{\%}$
		110				

9 Рассчитать потери напряжения по формулам:

$$\Delta U = U_{и} - U_{п}; \quad \Delta u_{\%} = \frac{\Delta U}{U_{и}} \cdot 100 \%$$

10 Построить графики зависимости тока I и потери напряжения $\Delta u_{\%}$ от ёмкости C .

Содержание отчета

Наименование и цель работы; схема исследования; таблицы результатов измерений и расчётов; расчёт потерь напряжения $\Delta u_{\%}$ и мощности $\Delta p_{\%}$ по приближенным формулам; расчёт значения компенсирующей ёмкости; графики зависимости тока I и потери напряжения $\Delta u_{\%}$ от ёмкости C ; векторные диаграммы; заключение.

Контрольные вопросы

- 1 По каким условиям выбирают сечение проводов питающей линии?
- 2 Как определяются параметры потребителя?
- 3 Как строится векторная диаграмма токов и напряжений в линии?
- 4 Как находят приближённые значения потерь напряжения в линии?
- 5 Схема замещения линии электропередачи.
- 6 Как находят ёмкость, требуемую для компенсации индуктивности потребителя?
- 7 В каких пределах регламентируются допустимые колебания напряжения на зажимах потребителя?
- 8 Устройство и принцип действия приборов электродинамической и ферродинамической систем.
- 9 Охарактеризуйте построенные графики.