ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОМЕХ В ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ ЛИНИИ ДПР В ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ ДО 200 *КГЦ*

Е. Л. Емельянов

Харьков

Для электроснабжения линейно-распределенной нагрузки, расположенной вдоль железных дорог, применяют линии трехфазного тока 6, 10, 25 и 35 *кв* в трехпроводном исполнении, а также линии напряжением 25 *кв*, где в качестве третьего провода используют рельсы — линии ДПР (два провода — рельс).

Конструктивно линия ДПР исполняется на опорах контактной сети путем подвески двух проводов на специальных консолях со стороны «поля». На перегонах двухпутных участков, как правило, подвешивается по одному проводу линии ДПР с полевой стороны каждого пути, что обеспечивает удобное подключение однофазных нагрузок, расположенных по обе стороны путей и присоединяемых по схеме провод — рельс. На станциях, где преобладают трехфазные нагрузки, провода линии ДПР подвешиваются с одной стороны пути.

В данной работе приводятся некоторые результаты исследования электрических помех в линии ДПР для организации по ней каналов телемеханики и связи. Вопросы высокочастотного уплотнения каналами связи и телемеханики силовых сетей 0,4—35 *кв*, линий электропередачи напряжением 110 *кв* и выше изложены в работах [2, 4, 5], где силовые системы представляют собой уединенные трехфазные линии.

Условия работы ДПР резко отличны от условий работы ЛЭП и распределительных силовых сетей: неоднородность фаз, значительное электромагнитное влияние тока электрической тяги, протекающего в контактном проводе и в рельсах, условия возврата тока по рельсам и частично по земле, а на некоторых участках железных дорог использование провода обратного тока, подвешенного на опорах контактной сети.

В работах [1, 2, 3, 4]отмечено, что электрические помехи для линий электропередачи 0,4—35 *кв* носят импульсный характер; основным их источником являются частичные разряды на изоляторах.

Частота следования импульсов помех равна удвоенной частоте напряжения питающей сети. Интервал между серией импульсов в однофазной линии

$$\Delta F = 2F,$$

где F — частота, *гц*
(для $F = 50$ *гц* $\Delta F = 100$ *гц*).

При исследовании электрических помех в линии ДПР поставлены задачи: выявить характер помех, дать их количественную оценку по результатам измерений и статистической их обработке установить закономерность в распределении по частоте и амплитуде. Всестороннее исследование электрических помех в линии ДПР позволит решить ряд задач организации каналов телемеханики и связи.

Помехи измерялись на опытных участках Одесско-Кишиневской и Южной железных дорогах, электрифицированных по системе переменного тока. Участки линии ДПР с включенными силовыми трансформаторами однофазными и трехфазными на мощность от 0,3 до 180 *ква* ограничиваются тяговыми подстанциями № 1 и № 2 (рис. 1, *а*).

В этом случае помехи определялись при различных режимах работы линии ДПР измерительными приборами, подключенными на одной из тяговых подстанций. Для выявления характера помех применялся осциллографический метод.

Подключение измерительных приборов выполнено по схеме провод — рельс (рис. 1, *б*), где *1* — шлейфовый осциллограф Н102; *2* — анализатор гармоник С5-2; *3* — избирательный указатель уровня ИУУ-300; *П* — переключатель положений рода работ; *ТН* — трансформатор напряжения ЗНОМ-35; $C_{к.с}$ — конденсатор связи типа 8КВ — 2 2000 *пф* и *L* — дроссель заземления 100 *мгн*.

Полученные при этом осциллограммы (рис. 2, 3, положение переключателя *П*1) позволяют установить характер изменения напряжения

помех в цепи ДПР в зависимости от напряжения питающей сети. При выбранных параметрах $C_{к.с}$ и L устройства присоединения с резистора R снимают напряжение с явно выраженными высокочастотными составляющими (т. е. электрические помехи).

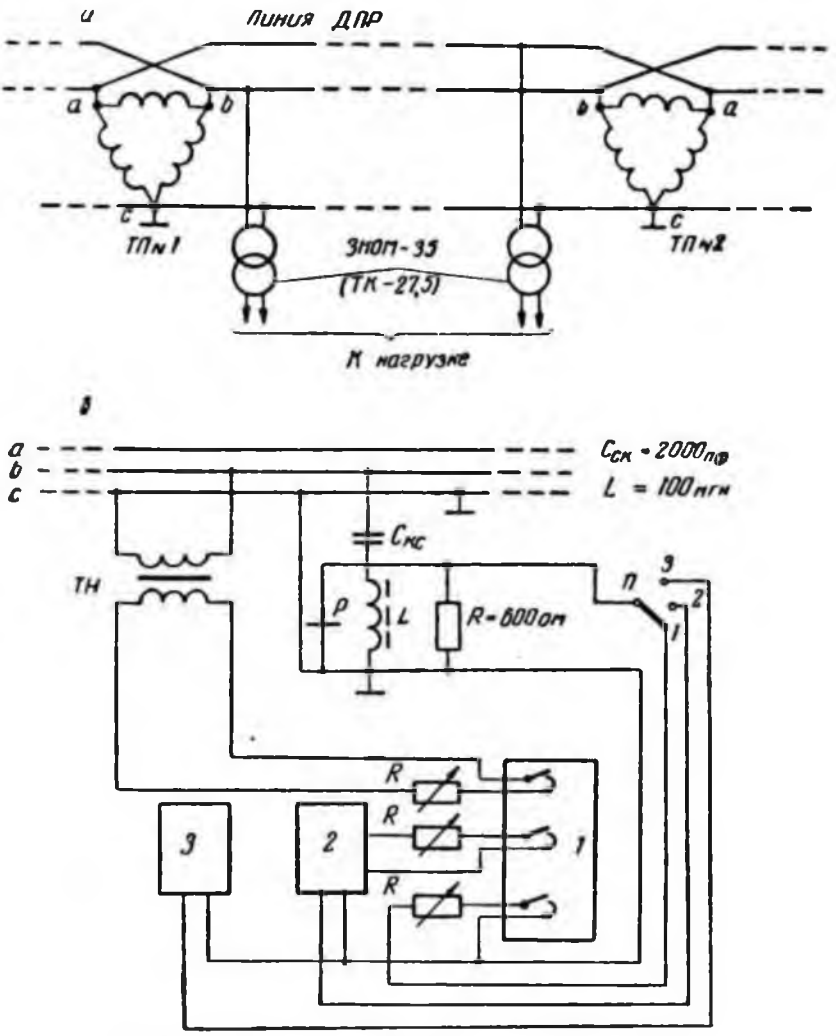

Рис. 1. Схема участка (*а*); схема измерения (*б*).

Осциллограмма рис. 2 соответствует режиму, когда контактная сеть под напряжением, линия ДПР запитывается от тяговой подстанции № 1 (рис. 1, *а*), а измерительные приборы подключены на тяговой подстанции № 2. Осциллограмма рис. 3 получена при питании линии ДПР с ТП № 2 и подключенной измерительной аппаратурой на этой же подстанции.

В положениях 2 и 3 переключателя *П* схема переключается для исследования спектрального состава сигнала помех. В положении *2* к нагрузке *R* подключается анализатор гармоник С5-2, на выход которого включен второй канал осциллографа *1*. При изменении частоты настройки анализатора (в приборе это выполняется вручную или автоматиче-

ски с помощью электродвигателя; в настоящем эксперименте перестройка осуществлялась автоматически) (рис. 4) зафиксировано изменение

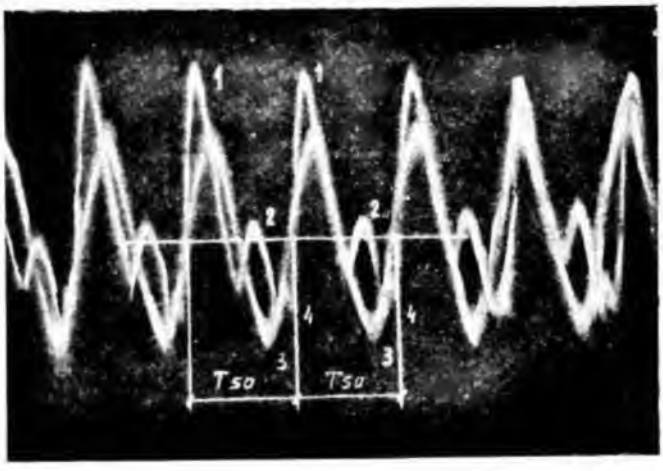

Рис. 2. Осциллограмма напряжения помех на выходе устройства присоединения относительно кривой 50 *гц*.

амплитуды сигнала помехи в зависимости от частоты и напряжения питающей сети, когда линия ДПР и контактная сеть находятся под напряжением.

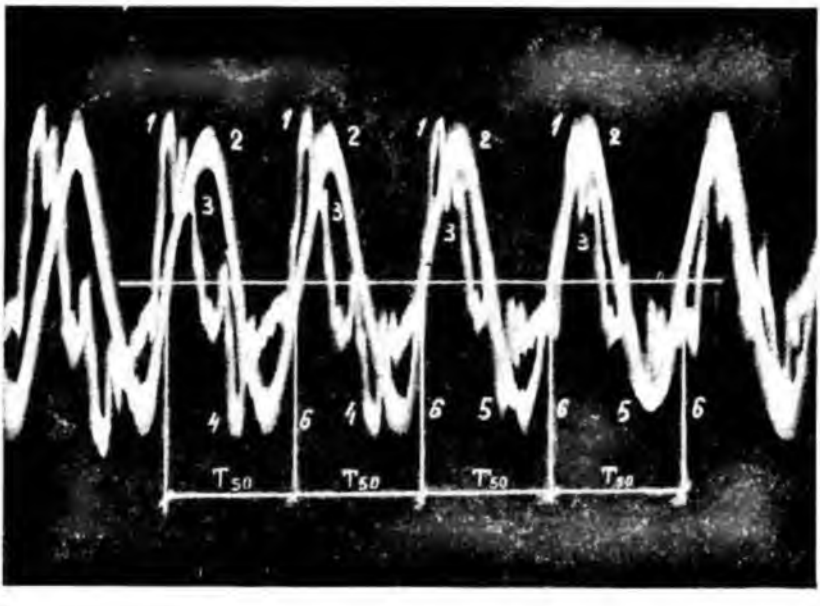

Рис. 3. Осциллограмма напряжения помех на выходе устройства присоединения относительно кривой 50 *гц*.

В положении *3* того же переключателя *П* к нагрузке *R* подключается избирательный указатель уровня для измерения уровня (напряжения) помех. Такие измерения выполнены в диапазоне частот 15—200 *кгц*.

Из приведенных осциллограмм (рис. 2, 3) следует, что каждому периоду напряжения питающей сети T_{50} соответствует от четырех до шести импульсов, регулярность появления которых обусловлена периодичностью максимумов 50-периодного напряжения в трехфазной линии. Из этих осциллограмм также следует, что помехи имеют импульсный характер.

На протяжении половины периода напряжения T_{50} питающей сети (рис. 2) происходит устойчивое чередование одного большого *1* и одного малого *2* импульсов, а на рис. 3 — одного большого *1* и двух меньших *2*,

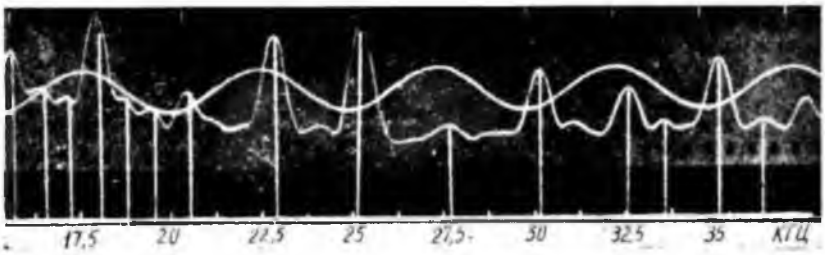

Рис. 4. Осциллограмма спектрального состава сигнала помех.

3 импульсов. На число импульсов за период напряжения питающей сети оказывает влияние величина обратного тягового тока, что подтверждает проведенный эксперимент (рис. 2, 3). Выполнено около пятидесяти осциллограмм на тяговых подстанциях ТП-1 и ТП-2 в различное время года, суток, в зависимости от поездного положения, при различных режимах работы линии ДПР.

Из осциллограммы рис. 4 видно, что амплитуды импульсов, записанные на выходе анализатора гармоник с помощью шлейфового осциллографа, уменьшаются с увеличением частоты настройки. Этой закономерности соответствует спад кривой направления помех, полученной при измерениях уровней избирательным указателем.

Для определения количественной оценки электрических помех в линии ДПР произведено около 2000 измерений напряжения помех при различных метереологических условиях, в зависимости от поездного положения на опытном участке, при различных режимах работы линии ДПР при полосе пропускания измерительных приборов Δf = 200, 1000, 3000 *гц*. С помощью математического аппарата теории вероятностей и математической статистики [6, 7, 8] обработан статистический материал измерений, в результате чего получено частотное и амплитудное распределение напряжения помех в диапазоне частот от 15 до 200 *кгц*. В процессе обработки статистического материала измерений доказано, что в этом диапазоне частот помехи распределены по нормальному закону с параметрами среднего значения $U_{ср}$ и среднего квадратичного отклонения σ, или дисперсии σ^2, которая характеризует степень рассеяния значений напряжений помех от его среднего значения.

На графике рис. 5 приведены результаты измерения напряжения помех на ТП № 1 при ширине канала Δf = 3000 *гц*. В диапазоне частот от 15 до 90 *кгц* напряжение помех изменяется от 35 до 2,73 *мв*, а в диапазоне частот от 90 до 200 *кгц* практически остается постоянным, колеблясь около значения 3 *мв*.

Экспериментально установленная периодическая последовательность появления импульсов в линии ДПР позволяет аналитически описать структуру составляющих импульсов помехи.

Такая периодическая последовательность импульсов описывается импульсной функцией $U(\omega t)$ с периодом T, равным половине периода промышленной частоты T_{50} (рис. 2) или одной трети T_{50} (рис. 3), что наиболее характерно для линии ДПР.

За каждый период импульсная функция имеет конечное число разрывов, поэтому интеграл за период является конечным; функция может быть разложена в ряд Фурье.

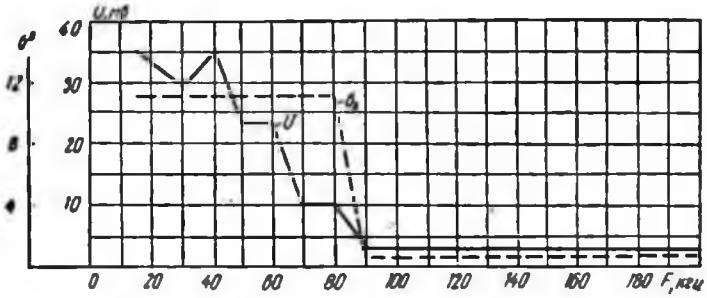

Рис. 5. Среднее значение напряжения помех и дисперсия при питании линии ДПР и ТП № 1. Измерения на ТП № 2, провод-рельс, $\Delta f = 3000$ *гц*.

При соответствующем выборе координатных осей и начала отсчета времени разложение функции в ряд Фурье будет содержать нечетные гармоники с амплитудами при двух импульсах в серии

$$a_n = \frac{8U}{n\pi} \sin n \frac{\pi t_u}{T} \cos n \frac{\pi \Delta t}{T}$$

и трех импульсах в серии

$$a_n = \frac{4U}{n\pi} \sin n \frac{\pi t_u}{T} \left[1 + 2 \cos n \frac{2\pi}{T} \Delta t\right] \cos n \frac{2\pi}{T} t,$$

где t_u — длительность импульса, *сек*.

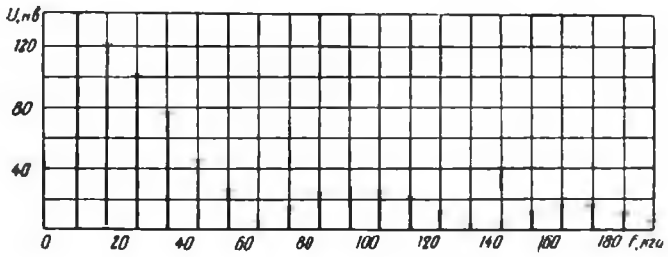

Рис. 6. Амплитудная структура составляющих при двух импульсах в серии.

Параметр Δt, определяемый частотой повторения частичных разрядов на изоляторе, зависит от времени деионизации среды в «газоразрядных элементах».

На рис. 6 приведена амплитудная структура составляющих при двух импульсах в серии при значении $t_u = 7 \cdot 10^{-6}$ *сек*, $\Delta t = 10^{-4}$ *сек*.

ВЫВОДЫ

1. Одним из основных источников помех в линии ДПР являются частичные разряды на изоляторах.

Форма кривой напряжения помех зависит от величины обратного тягового тока.

2. Электрические помехи носят импульсный характер. В зависимости от режима питания линии ДПР и места измерения наблюдается от четырех до шести импульсов за период напряжения питающей сети T_{50}. Импульсы помех появляются синхронно с максимумами напряжения в линии. Форма кривой напряжения помех с шестью импульсами за период T_{50} является характерной для линии ДПР.

3. Напряжение помех с увеличением частоты и в зависимости от ширины пропускания канала Δf уменьшается.

В диапазоне частот от 15 до 80 *кгц* напряжение помех изменяется в пределах от 80 до 0,1 *мв* при различных режимах работы линии ДПР и различной полосе пропускания $\Delta f = 3000$, 1000, 200 *гц* (результаты измерений помех для значений $\Delta f_3 = 1000$, $\Delta f_2 = 200$ *гц* в статье не приводятся).

В диапазоне частот от 80 до 200 *кгц* напряжение помех практически не изменяется, оно находится в пределах от 6,0 до 0,1 *мв* для указанных выше условий.

4. Амплитудная структура импульсов представляет бесконечный ряд гармоник с частотами, кратными значениям частоты повторения импульсов. Наиболее характерны для линии ДПР гармоники с частотами, кратными нечетным значениям частоты повторения импульсов 150, 450, 750 *гц* и т. д.

ЛИТЕРАТУРА

1. Б. В. Смирнов, В. В. Сарапкин. Образование и структура помех в воздушных сетях 0,4—35 *кв*. «Электросвязь», 1960, № 7.

2. В. В. Сарапкин. Помехи от частичных разрядов на изоляторах электрических сетей 0,4—35 *кв*. «Электросвязь», 1963, № 4.

3. В. В. Сарапкин. Высокочастотные колебания в линиях 6, 10, 35 *кв*, образующиеся от нормальных и дефектных изоляторов. «Электричество», 1966, № 9.

4. В. В. Сарапкин. Помехи в распределительных электрических сетях для каналов телефонной связи и телемеханики. Изд-во «Техника», 1969.

5. Б. В. Смирнов, А. А. Ильин. Передача сигналов по распределительным электрическим сетям. Гостехиздат, Киев, 1963.

6. Е. С. Вентцель. Теория вероятностей. Физматгиз, 1962.

7. А. Хальд. Математическая статистика с техническими приложениями. Изд-во иностр. лит., 1956.

8. А. В. Шереметьев. Отработка результатов измерений электрических характеристик методами математической статистики. Связьиздат, 1961.

9. А. А. Харкевич. Спектры и анализ. Физматгиз, 1962.