

РАСЧЕТ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ КАНАЛОВ СВЯЗИ, ОРГАНИЗОВАННЫХ НА МАГИСТРАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

И. Ф. Огороднейчук

Харьков

Задачей расчета высокочастотных каналов связи для систем телемеханики, организованной по силовой распределительной сети, является определение затухания и входного сопротивления сложной неоднородной линии. При расчете будем пользоваться уже известными величинами Z и Y для отдельных элементов системы. Эти параметры могут быть измерены или вычислены по соответствующим формулам.

Пусть дана система: трансформатор, соединенный Δ/Δ , бронированный кабель и электродвигатель, соединенный Δ .

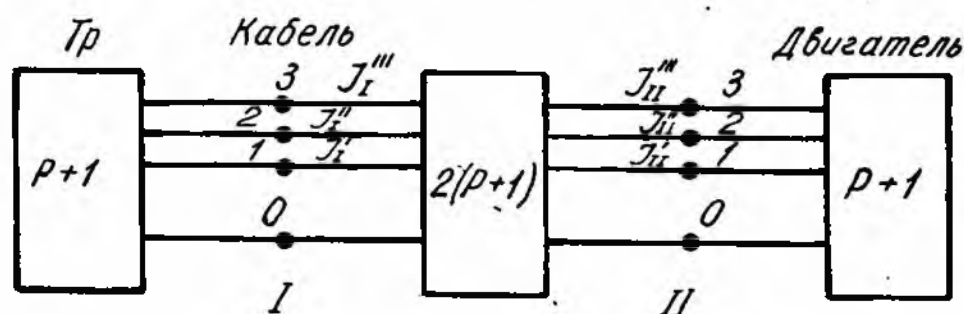


Рис. 1. Блок-схема соединения трансформатор — кабель — электродвигатель.

Для контроля работы насоса используется система ТК, у которой каналом является силовая сеть. Эту систему можно представить в виде двух $(P + 1)$ -полюсников и одного $2(P + 1)$ -полюсника (рис. 1). Здесь $(P + 1)$ -полюсниками являются трансформатор и электродвигатель (концевые нагрузки), матрицы проводимостей которых соответственно равны:

матрица проводимости электродвигателя:

$$\vec{Y}_d = \begin{vmatrix} Y_{3k} + Y_{23} + Y_{13} - Y_{23}, & -Y_{13} \\ -Y_{23}, & Y_{2k} + Y_{12} + Y_{23}, & -Y_{13} \\ -Y_{13}, & -Y_{12}, & Y_{1k} + Y_{12} + Y_{13} \end{vmatrix}; \quad (1)$$

матрица проводимости трансформатора:

$$\vec{Y}_T = \begin{vmatrix} Y'_{3k} + Y'_{23} + Y'_{13} - Y'_{23}, & -Y'_{13} \\ -Y'_{23}, & Y'_{2k} + Y'_{12} + Y'_{23}, & -Y'_{13} \\ -Y'_{13}, & -Y'_{12}, & Y'_{1k} + Y'_{12} + Y'_{13} \end{vmatrix}; \quad (2)$$

где $Y_{12}, Y_{23}, Y_{31}, Y_{1k}, Y_{2k}, Y_{3k}, Y'_{12}, Y'_{23}, Y'_{31}, Y'_{1k}, Y'_{2k}, Y'_{3k}$ — частичные проводимости концевых $(P + 1)$ -полюсников.

Для бронированного кабеля, как $2(P + 1)$ -полюсника, токи и напряжения запишутся через матрицу $\vec{A}$ следующим образом:

$$\begin{aligned}\vec{U}_I &= \vec{A}_{aa}\vec{U}_{II} + \vec{A}_{ab}\vec{I}_{II}; \\ \vec{I}_I &= \vec{A}_{ba}\vec{U}_{II} + \vec{A}_{bb}\vec{I}_{II}.\end{aligned}\quad (3)$$

Для $(P + 1)$ -полюсников слева и справа можно записать: для трансформатора

$$\vec{U}_I = \vec{E} - \vec{Z}_{тр}\vec{I}; \quad (4)$$

для двигателя:

$$\vec{U}_{II} = \vec{I}_{II} \cdot \vec{Z}_{дв}; \quad (5)$$

где

$$\begin{aligned}\vec{I}_I &= \begin{Bmatrix} I'_I \\ I''_I \\ I'''_I \end{Bmatrix}; & \vec{I}_{II} &= \begin{Bmatrix} I'_{II} \\ I''_{II} \\ I'''_{II} \end{Bmatrix}; \\ \vec{U}_I &= \begin{Bmatrix} U'_I \\ U''_I \\ U'''_I \end{Bmatrix}; & \vec{U}_{II} &= \begin{Bmatrix} U'_{II} \\ U''_{II} \\ U'''_{II} \end{Bmatrix}.\end{aligned}\quad (6)$$

Матрица задающего тока системы «фаза — земля» равна:

$$\vec{j}_{\phi-z} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ E_{1k}Y_{1k} \end{Bmatrix}_{\phi-z}; \quad (7)$$

для системы «3 фазы — земля»:

$$\vec{j}_{3,-3} = \begin{Bmatrix} E_{1k}Y_{1k} \\ E_{2k}Y_{2k} \\ E_{3k}Y_{3k} \end{Bmatrix}; \quad (8)$$

для системы «фаза — фаза»:

$$\vec{j}_{\phi-\phi} = \begin{Bmatrix} Y_{12}E_{12} \\ -Y_{12}E_{12} \\ 0 \end{Bmatrix}; \quad (9)$$

для системы «2 фазы — фаза»:

$$\vec{j}_{2\phi-\phi} = \begin{Bmatrix} Y_{12}E_{12} + Y_{13}E_{13} \\ -Y_{12}E_{12} \\ -Y_{13}E_{13} \end{Bmatrix}. \quad (10)$$

Матрицы эквивалентных концевых нагрузок равны соответственно для электродвигателя:

для системы «фаза — земля»:

$$\vec{Y}_д = (\vec{Y}_\Delta + \vec{Y}_{\Delta-z}^n); \quad (11)$$

для системы «3 фазы — земля»:

$$\vec{Y}_д = (\vec{Y}_\Delta + \vec{Y}_{3\phi-z}^n); \quad (12)$$

для системы «фаза — фаза»:

$$\vec{Y}_д = (\vec{Y}_\Delta + \vec{Y}_{\phi-\phi}^n); \quad (13)$$

для системы «2 фазы — фаза»:

$$\vec{Y}_\Delta = (\vec{Y}_\Delta + \vec{Y}_{2\phi-\phi}^n). \quad (14)$$

Аналогично можно записать для эквивалентной концевой нагрузки со стороны трансформатора:

$$Y_T = (Y'_\Delta + Y_{\phi-\Delta}^n); \quad j = j_{\phi-\Delta}; \quad (15)$$

$$Y_T = (Y'_\Delta + Y_{3\phi-\Delta}^n); \quad j = j_{3\phi-\Delta}; \quad (16)$$

$$Y_T = (Y'_\Delta + Y_{\phi-\phi}^n); \quad j = j_{\phi-\phi}; \quad (17)$$

$$Y_T = (Y'_\Delta + Y_{2\phi-\phi}^n); \quad j = j_{2\phi-\phi}. \quad (18)$$

Здесь Y'_Δ — матрица проводимости схемы замещения трансформатора;

$\vec{Y}^n$ — матрицы концевой нагрузки систем телемеханики, которые соответственно равны:

$$\vec{Y}_{\phi-\Delta}^n = \begin{vmatrix} 0, & 0, & 0 \\ 0, & 0, & 0 \\ 0, & 0, & Y_{1k}^n \end{vmatrix}; \quad \vec{Y}_{2\phi-\phi}^n = \begin{vmatrix} Y_{13}^n, & 0, & -Y_{13}^n \\ 0, & Y_{12}^n, & -Y_{12}^n \\ -Y_{13}^n, & -Y_{12}^n, & Y_{12}^n + Y_{13}^n \end{vmatrix};$$

$$\vec{Y}_{3\phi-\Delta}^n = \begin{vmatrix} Y_{3k}^n, & & \\ & Y_{2k}^n, & \\ & & Y_{1k}^n \end{vmatrix}; \quad \vec{Y}_{\phi-\phi}^n = \begin{vmatrix} 0, & 0, & 0 \\ 0, & Y_{12}^n, & -Y_{12}^n \\ 0, & -Y_{12}^n, & Y_{12}^n \end{vmatrix}.$$

Для того, чтобы определить токи и напряжения в начале и в конце многополюсника типа $2(P+1)$, необходимо, в первую очередь, определить матрицы $\vec{Z}$ и $\vec{E}$ для концевых $(P+1)$ -полюсников, которые найдены в виде матриц проводимости $\vec{Y}$ и задающих токов $\vec{j}$.

Известно, что

$$\vec{Z} = \vec{Y}^{-1};$$

$$\vec{E} = -\vec{Y}^{-1} \cdot \vec{j}. \quad (19)$$

Составим систему уравнений для схемы рис. 1: для активного $(P+1)$ -полюсника слева:

$$\vec{U}_I = \vec{E} - \vec{Z}_{\text{тр}} \cdot \vec{I}_I; \quad (20)$$

для пассивного $(P+1)$ -полюсника:

$$\vec{U}_{II} = \vec{Z}_{\text{дв}} \cdot \vec{I}_{II}; \quad (21)$$

для проходного $2(P+1)$ -полюсника:

$$\begin{aligned} \vec{U}_I &= \vec{A}_{ao} \vec{U}_{II} + \vec{A}_{ab} \vec{I}_{II}; \\ \vec{I}_I &= \vec{A}_{ba} \vec{U}_{II} + \vec{A}_{bb} \vec{I}_{II}. \end{aligned} \quad (22)$$

Решая совместно уравнения (20), (21), (22), найдем:

$$\begin{aligned}\vec{I}_{II} &= \vec{H}^{-1} \cdot \vec{E}; \\ \vec{U}_{II} &= \vec{Z}_{дв} \cdot \vec{H}^{-1} \cdot \vec{E}; \\ \vec{I}_I &= (\vec{A}_{ba}\vec{Z}_{дв} + \vec{A}_{bb}) \vec{H}^{-1} \cdot \vec{E}; \\ \vec{U}_I &= (\vec{A}_{aa}\vec{Z}_{дв} + \vec{A}_{ab}) \vec{H}^{-1} \cdot \vec{E};\end{aligned}\quad (23)$$

где

$$\vec{H} = \vec{A}_{ba}\vec{Z}_{дв} + \vec{Z}_{тр}\vec{A}_{bb} + \vec{A}_{ab} + \vec{Z}_{тр}\vec{A}_{ba}\vec{Z}_{дв},$$

а

$$\vec{A}_{aa}, \vec{A}_{ab}, \vec{A}_{ba}, \vec{A}_{bb}$$

матрицы $2(P+1)$ -полюсника, которые могут быть легко определены для T -образной схемы замещения бронированного кабеля. Звено T -образной схемы замещения куска бронированного кабеля дает удовлетворительные результаты только для некоторого определенного участка силового кабеля с наперед заданной погрешностью. Для того, чтобы представить себе длинный участок силового кабеля, необходимо n T -образных звеньев соединить каскадно и определить цепочечную матрицу проходного многополюсника. Зная токи и напряжения в начале и в конце проходного многополюсника, легко определить входные сопротивления для различных систем соединения, коэффициенты передачи, затухание и т. д. с учетом концевых нагрузок.

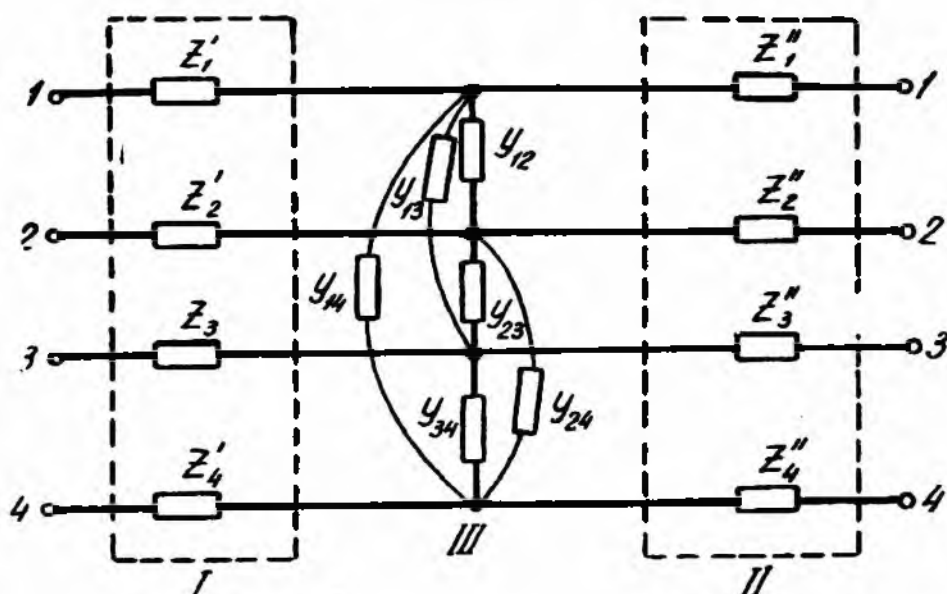


Рис. 2. Схема бронированного кабеля.

Следует заметить, что таким образом найденные параметры соответствуют заданной фиксированной частоте, на которой определены элементы матриц. В случае определения частотных зависимостей параметров канала телемеханики необходимо производить расчеты на разных частотах.

В приближенных расчетах параметров канала в широком диапазоне частот можно выбирать расчетные частоты не густо по исследуемому диапазону, однако следует учитывать характер изменения частотных параметров.

Прежде чем перейти к вопросу расчета канала телемеханики, организованного на магистральной распределительной силовой сети, остановимся на матрицах многополюсников типа $2(P+1)$, образованных из $(P+1)$ -полюсников [3], рис. 2.

Пусть для $(P+1)$ -полюсника известны матрицы $\bar{Y}$ и $\bar{j}$. Представляя многополюсник как $2(P+1)$ -полюсник, легко можно записать:

$$\begin{aligned}\bar{U}_I &= \bar{U}_{II}; \\ \bar{I}_I &= \bar{Y}\bar{U}_{II} + \bar{I}_{II}\bar{j}.\end{aligned}\quad (24)$$

Сравнивая эти уравнения с уравнениями проходного многополюсника

$$\begin{aligned}\bar{U}_I &= \bar{A}_{aa}\bar{U}_{II} + \bar{A}_{ab}\bar{I}_{II} + \bar{E}; \\ \bar{I}_I &= \bar{A}_{ba}\bar{U}_{II} + \bar{A}_{bb}\bar{I}_{II} + \bar{j},\end{aligned}\quad (25)$$

найдем, что

$$\begin{aligned}\bar{A}_{aa} &= \bar{A}_{bb} = 1; \quad \bar{A}_{ab} = 0; \\ \bar{A}_{ba} &= \bar{Y}; \quad \bar{E} = 0; \quad \bar{j} = 0.\end{aligned}\quad (26)$$

Если $2(P+1)$ -полюсник образуется из $(P+1)$ -лучевой звезды, то матрицы многополюсника будут равны:

$$\begin{aligned}\bar{A}_{aa} &= \bar{A}_{bb} = 1; \quad \bar{A}_{ab} = 0; \\ \bar{A}_{ba} &= \bar{Y}_{\Delta\Delta};\end{aligned}\quad (27)$$

а для $(P+1)$ -угольника

$$\begin{aligned}\bar{A}_{ba} &= \bar{Y}_{\Delta\Delta}; \\ \bar{A}_{aa} &= \bar{A}_{bb} = 1; \quad \bar{A}_{ab} = 0,\end{aligned}\quad (28)$$

где $\bar{Y}_{\Delta\Delta}$ — матрица проводимости электродвигателя с обмоткой, соединенной звездой;

$\bar{Y}_{\Delta\Delta}$ — матрица проводимости электродвигателя с обмоткой, соединенной треугольником.

Зная эти матрицы, перейдем непосредственно к расчету каналов телемеханики, организованных на магистральных распределительных сетях.

Пусть дана магистральная распределительная сеть (рис. 3).

Требуется определить параметры канала, организованного по данной РСС между многополюсниками I и XI.

Представим данную сеть в виде блок-схемы многополюсника (рис. 4).

Матрицы многополюсников I и XI могут быть найдены по формулам для эквивалентных конечных нагрузок. Матрица проходного эквивалентного многополюсника определяется следующим образом: для многополюсников II, IV, VI, VIII, X — по формуле (3), а для проходных многополюсников II—IV с учетом III, IV—VI, V, VI—VIII, VII, VIII—X и IX по формулам (27), (28).

Этому соответствует блок-схема на рис. 5.

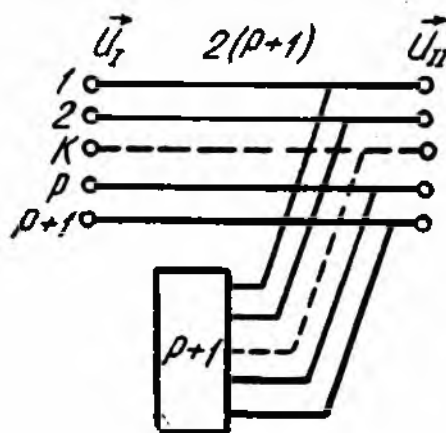


Рис. 3. Схема образования $2(P+1)$ -полюсника на базе $(P+1)$ -полюсника.

Таким образом, между многополюсниками I и XI включены проходные многополюсники (рис. 6).

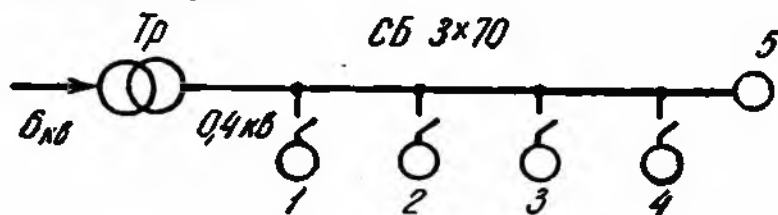


Рис. 4. Схема магистральной сети.

Матрица эквивалентного многополюсника равна:

$$\vec{A} = \vec{A}^{II} \times \vec{A}^{II-IV} \times \vec{A}^{IV} \times \vec{A}^{IV-VI} \times \dots \times \vec{A}^X,$$

где

$$\vec{A}^i = \begin{Bmatrix} A_{aa}, & A_{ab} \\ A_{ba}, & A_{bb} \end{Bmatrix}.$$

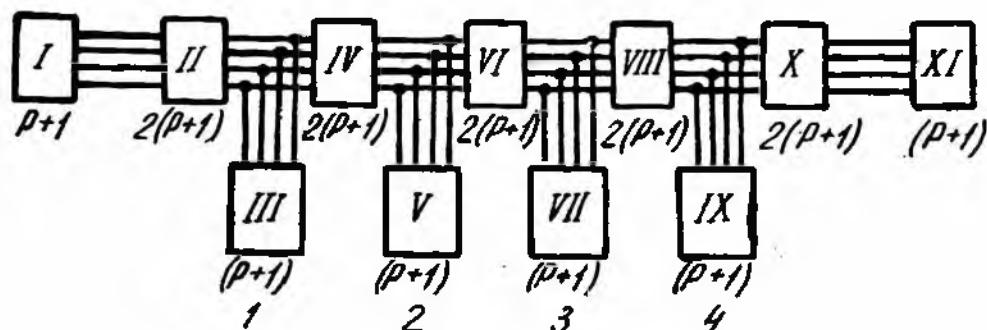


Рис. 5. Блок-схема магистральной сети.

Заменяв цепочечное соединение проходных многополюсников эквивалентным проходным многополюсником, у которого слева и справа включена концевая нагрузка (многополюсники I и XI), можно по вышеприведенным формулам (23) определить токи и напряжения на входе и выходе проходного многополюсника, откуда легко найти затухание, входное сопротивление и т. д. Если необходимо определить параметры в промежуточных точках (например, на зажимах многополюсника VIII), то в этом случае многополюсник VIII следует принять за концевой и



Рис. 6. Преобразованная блок-схема.

учесть дополнительно влияние конца VIII—XI. Эту задачу можно решать после того, как будет рассмотрен вопрос о нахождении результирующей матрицы для разветвленной линии. Решение этого вопроса связано с решением в первую очередь вопроса о нахождении матрицы $2(P+1)$ -полюсника, образованного $2(P+1)$ -полюсником, который нагружен на конце $(P+1)$ -полюсником. Этим самым решится вопрос нахождения эквивалентной матрицы разветвления.

Расчет распределительных сетей сводится к расчету разветвленных сетей, если отдельные ответвления не обрабатываются. Если же ответ-

вления обработаны заградительными фильтрами, то задача расчета канала телемеханики сводится к простым случаям, которые были нами уже рассмотрены.

ЛИТЕРАТУРА

1. Б. В. Смирнов и А. А. Ильин. Передачи сигналов по распределительным энергетическим сетям. Гостехиздат УССР, 1963.
 2. Б. В. Смирнов. Расчет затухания токов высокой частоты в неразветвленных линиях 6—35 кВ. Журн. «Электричество», 1957, № 1.
 3. Э. В. Зелях. Основы общей теории линейных электрических схем. Изд-во АН СССР, 1951.
-