

ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАЗВЕТВЛЕННОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СЕТИ, ИСПОЛЬЗУЕМОЙ В КАЧЕСТВЕ КАНАЛА ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

И. Ф. Огороднейчук, В. Д. Остроухов, Э. Г. Дендер

Харьков

Назначение физической модели — исследование разветвленных энергетических сетей, используемых в качестве канала передачи информации и определения оптимального диапазона частот для систем телемеханики и высокочастотной связи. До сих пор не существует удобных методов расчета разветвленных сетей, используемых как каналы в системах телемеханики и связи. Особенно это затруднительно для тех сетей, конфигурация которых изменяется в процессе эксплуатации. К таким сетям в первую очередь следует отнести шахтную силовую сеть, ветвь нефтепромыслов, карьеров, газопроводов. Исследование такого канала связи возможно только при помощи эксперимента, проводимого на конкретной модели сети, отображающей реальную сеть.

Физическая модель сети состоит из отдельных элементов: электродвигателей, кабелей, трансформаторов. Общая машина для моделирования разветвленных сетей включает в себя набор различных электродвигателей, силовых кабелей, трансформаторов. На такой модели можно набирать сеть различной конфигурации и производить исследование характеристик сети; определять частотные зависимости входных сопротивлений для различных комбинаций жил и брони, частотные характеристики рабочего затухания. По частотным характеристикам входных сопротивлений и затухания можно найти рациональный диапазон частот по критерию «минимум затухания», определить места обработки сети, определить область устойчивой работы системы телемеханики. Каждой конкретной схеме энергоснабжения соответствует определенный набор элементов моделирующей машины. Данная моделирующая машина может быть применена в научно-исследовательских институтах при исследовании разветвленных энергетических сетей, используемых для передачи информации, в монтажно-наладочных управлениях для регулировки и наладки систем телемеханики и связи, на заводах, выпускающих системы телемеханики и связи, которые используют в качестве канала силовую сеть.

ОПИСАНИЕ МОДЕЛЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СЕТИ

1. Моделирование обмоток электродвигателей в широком диапазоне частот. При использовании локального подобия модели и оригинала задача сводится к выявлению из общего числа критериев, определяющих наиболее характерные явления, и выделения их при моделиро-

вании обмоток асинхронных электродвигателей в широком диапазоне частот.

При построении модели асинхронного электродвигателя необходимо решить задачу о влиянии параметров обмотки электродвигателя на параметры силовой сети шахт, нефтепромыслов, карьеров, газопроводов,

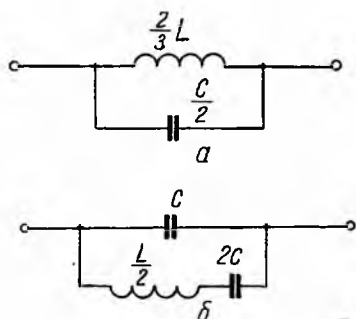


Рис. 1. Схема двухполусников второго и третьего классов.

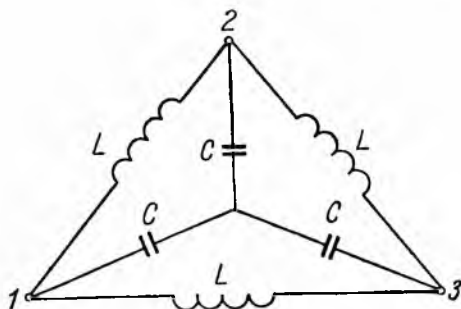


Рис. 2. Упрощенная схема модели электродвигателя.

которая используется в качестве канала для систем телемеханики и связи. С этой точки зрения асинхронный электродвигатель рассматривается как концевая нагрузка, и влияние концевой будет зависеть от согласования обмотки электродвигателя с питающим кабелем. На основе этого критерий подобия обмотки электродвигателя и его модели можно записать так:

$$Z_{с.д} = Z_{с.м};$$

$$\gamma_{дв} = \gamma_{м},$$

где $Z_{с.д}$ — характеристическое сопротивление обмотки электродвигателя;

$Z_{с.м}$ — характеристическое сопротивление модели;

$\gamma_{дв}$ — постоянная передача обмотки;

$\gamma_{м}$ — постоянная передача модели.

Между характеристиками сопротивления, постоянной передачи и входным сопротивлением существует однозначная зависимость, поэтому критерий подобия можно выразить через подобие входных сопротивлений. При коэффициенте подобия, равном единице, модель становится оптимальной. В этом случае частотные характеристики входного сопротивления в режиме холостого хода и короткого замыкания для модели и для оригинала должны совпадать полностью. В ограниченном диапазоне частот с высокой степенью точности можно принять параметры обмотки сосредоточенными. Это позволяет использовать теорию двухполусных цепей для нахождения схемы замещения обмотки асинхронного короткозамкнутого электродвигателя. При построении модели асинхронного электродвигателя используется то обстоятельство, что в качестве схемы замещения трехфазной электромашиной обмотки может быть использована соответствующая двухполусная цепь. Синтез двухполусной цепи производится по частотной зависимости входного сопротивления моделируемого электродвигателя.

В ограниченном диапазоне частот при моделировании обмотки электродвигателя по системе «фаза — земля» применяется двухполусник третьего класса (рис. 1, а); при системе «фаза — фаза» — двухполусник второго класса (рис. 1, б).

Окончательно приходим к схеме замещения (рис. 2), которая учитывает только реактивные элементы.

На рис. 3 приведены сравнительные характеристики входных сопротивлений для электродвигателя и его модели, построенной по следующей методике. Расчет производится для системы «фаза — фаза». Исходными величинами являются: резонансные частоты и входные сопротивления при определенной частоте. Для нахождения величин L и C используются известные из теории двухполюсных цепей формулы.

Здесь L — частичная индуктивность модели;

C — частичная емкость модели;

$$L' = \frac{Z(\omega_0^2 - \omega^2)}{\omega \omega_0^2};$$

$$C = \frac{1}{\omega_0^2 L}; \quad L' = \frac{2}{3} L; \quad C' = \frac{C}{2},$$

где L' и C' — индуктивность и емкость приведенного двухполюсника, (рис. 1, а; 1, б);

ω_0 — резонансная частота;

ω — текущее значение круговой частоты.

Вычисленные таким образом величины L и C принимаются в качестве параметров модели обмотки системы «фаза — фаза» для системы «фаза — земля» эти величины иные.

Чтобы пояснить это положение рассмотрим, как распространяется импульс напряжения по катушке, изолированной от корпуса. Между током и напряжением для этих условий существует следующее соотношение:

$$U = \omega L_0 \frac{2}{3} I_0,$$

где U — напряжение, приложенное к катушке;

ω — круговая частота;

L_0 — индуктивность катушки;

$\frac{2}{3} I$ — среднее значение тока при параболическом законе его изменения.

Учитывая, что параметры в модели принимаются сосредоточенными, для сохранения соотношения между токами и напряжением индуктивность катушки необходимо уменьшить до $\frac{2}{3} L$. Окончательная схема модели обмотки асинхронного электродвигателя приведена на рис. 4. Здесь R_L и R_C — сопротивления, учитывающие потери в диэлектрике и металле. Снятые экспериментальные характеристики построенной модели обмотки асинхронного электродвигателя (рис. 3) показывают, что данная модель с определенной точностью копирует характеристики входных сопротивлений реальных электродвигателей в широком диапазоне частот. Для множества однотипных электродвигателей разброс параметров составляет примерно 10%, что соответствует заданной точности моделирования. По такой методике можно построить модели различных типов асинхронных электродвигателей, которые будут различаться лишь значением параметров.

2. Моделирование силовых кабелей как каналов телемеханики и связи. При построении модели силовых кабелей решаем уравнения Максвелла

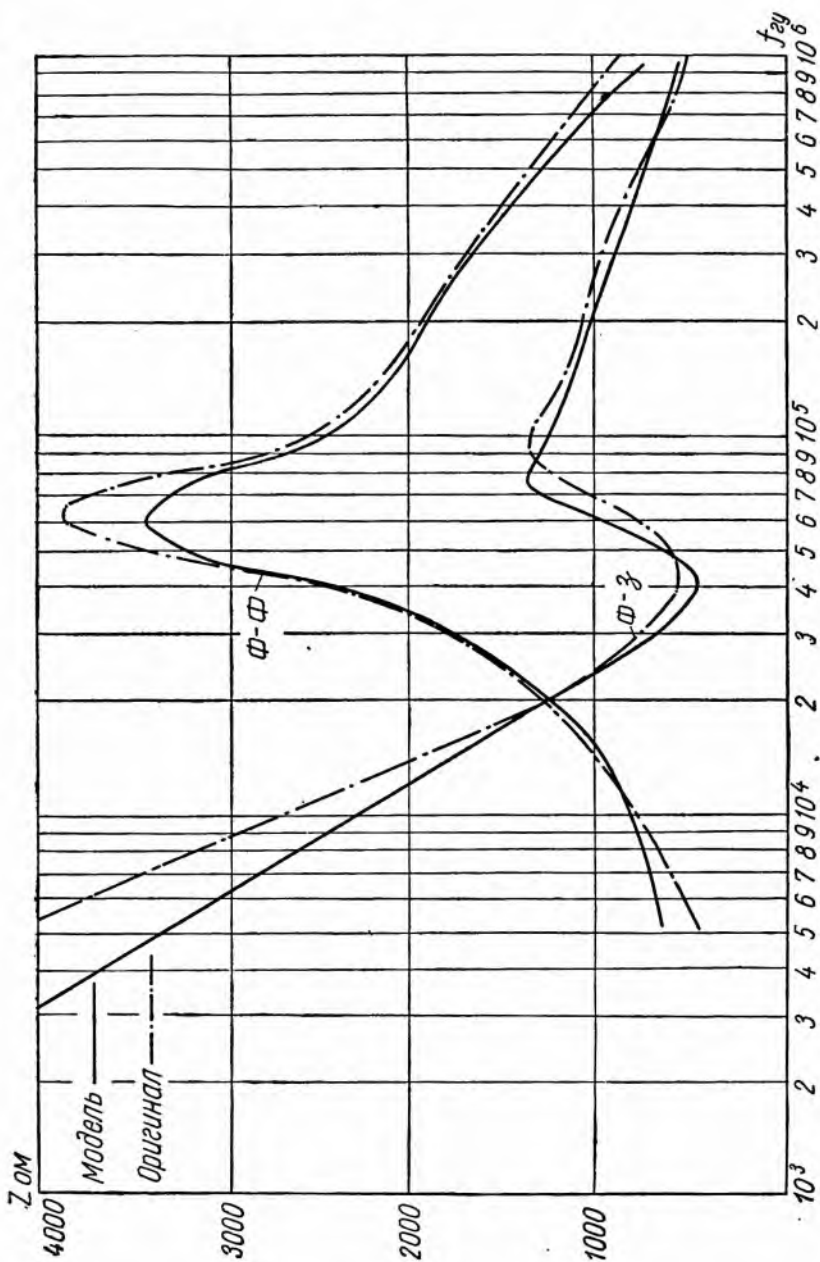


Рис. 3. Сравнительные характеристики входных сопротивлений электродви-
гателя и его модели.

Полагая β_m равным β_k на некоторой средней частоте диапазона воспроизведения, получим

$$R_m = 2Z_C \beta_k.$$

Для одного звена

$$R'_m = 2l_{\text{зв}} Z_C \beta_k.$$

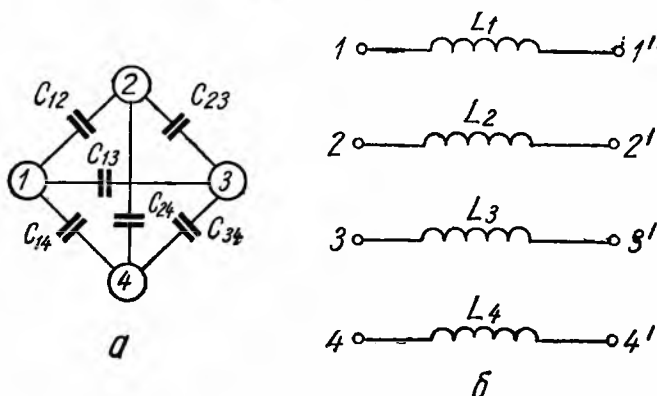


Рис. 5. К определению частных параметров.

Принимая известную методику построения звена модели для двухпроводной линии без потерь, можно построить звено модели гибкого четырехжильного кабеля. Для этого необходимо разделить частичные емкости пополам и включить накрест между соответствующими частичными индуктивностями. Модель четырехжильного гибкого кабеля без потерь показана на рис. 6. Такое звено воспроизводит волновые характеристики кабеля определенной длины в заданном диапазоне частот. Для бронированных кабелей могут быть определены частичные емкости

$$C_{12} = \frac{C_{\text{фф}}(2C_{\text{фф}} - C_{\text{ф-б}})}{3C_{\text{фф}} - C_{\text{ф-б}}},$$

$$C_{10} = \frac{C_{\text{фф}} \cdot C_{\text{ф-б}}}{3C_{\text{фф}} - C_{\text{ф-б}}},$$

где C_{12} — емкость между жилами;

C_{10} — емкость между жилой и броней;

$C_{\text{ф-ф}}$ — емкость, измеренная между фазами;

$C_{\text{ф-б}}$ — емкость, измеренная между фазой и броней.

Частичные индуктивности могут быть определены по формулам

$$L_{\text{ф}} = \frac{L_{\text{фф}}}{2}; \quad L_{\text{б}} = L_{\text{ф-б}} - L_{\text{ф}},$$

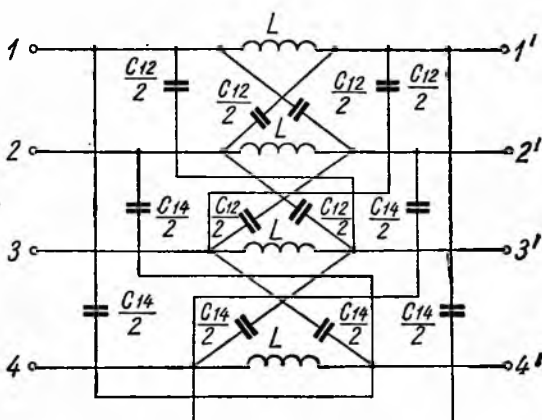


Рис. 6. Модель звена кабеля.

где

$$L_{\phi\phi} = Z_{c. \phi\phi}^2 \cdot C_{\phi\phi};$$

$$L_{\phi-6} = Z_{c. \phi-6}^2 \cdot C_{\phi-6}.$$

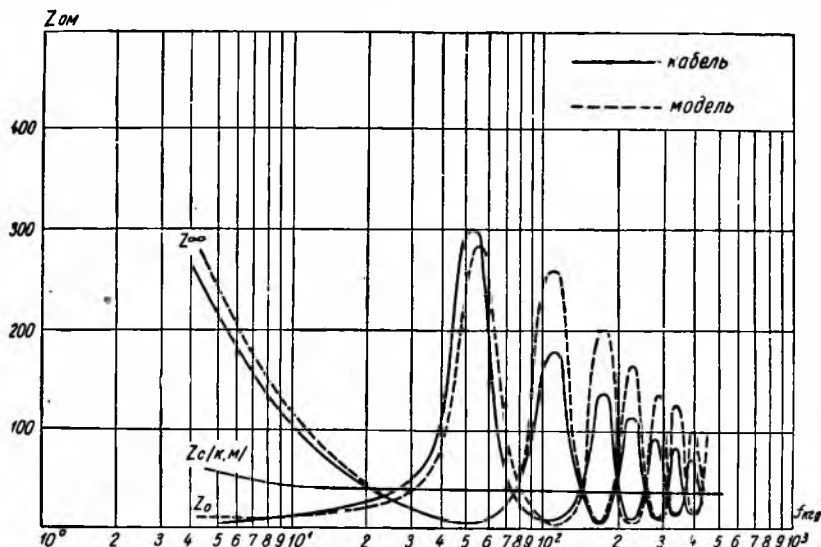


Рис. 7. Характеристика кабеля и модели кабеля СБ 3×50.

Схема звена модели бронированного кабеля аналогична схеме модели четырехжильного кабеля. На рис. 7 даны характеристики кабеля СБ 3×50 и его модели.

3. Моделирование обмоток силовых трансформаторов в широком диапазоне частот. Для построения модели трансформатора решаем задачу о влиянии параметров обмотки трансформатора как канала телемеханики. С этой точки зрения обмотку трансформатора можно рассматривать как конечную нагрузку; влияние конечной нагрузки зависит от согласования приведенной обмотки трансформатора с силовым кабелем.

Задачу решаем так же, как и для асинхронных электродвигателей, с той лишь разницей, что обмотку трансформатора необходимо приводить к эквивалентной.

В этом случае

$$Z_c = i \text{ dem}, \quad \gamma = i \text{ dem},$$

являются критериями подобия и выражаются через частотные зависимости входных сопротивлений в режиме холостого хода и короткого замыкания с коэффициентом подобия, равным единице.

Замещение обмотки трансформатора, как конечной нагрузки изображено на схеме (рис. 8, а; 8, б), а характеристики входных сопротивлений модели и оригинала приведены на рис. 9. Сначала строим модель на основе экспериментального определения эквивалентных параметров. Затем определяем частичные параметры модели трансформатора. Аналогично можно построить модели трансформаторов различной мощности: различаться они будут только значениями частичных параметров.

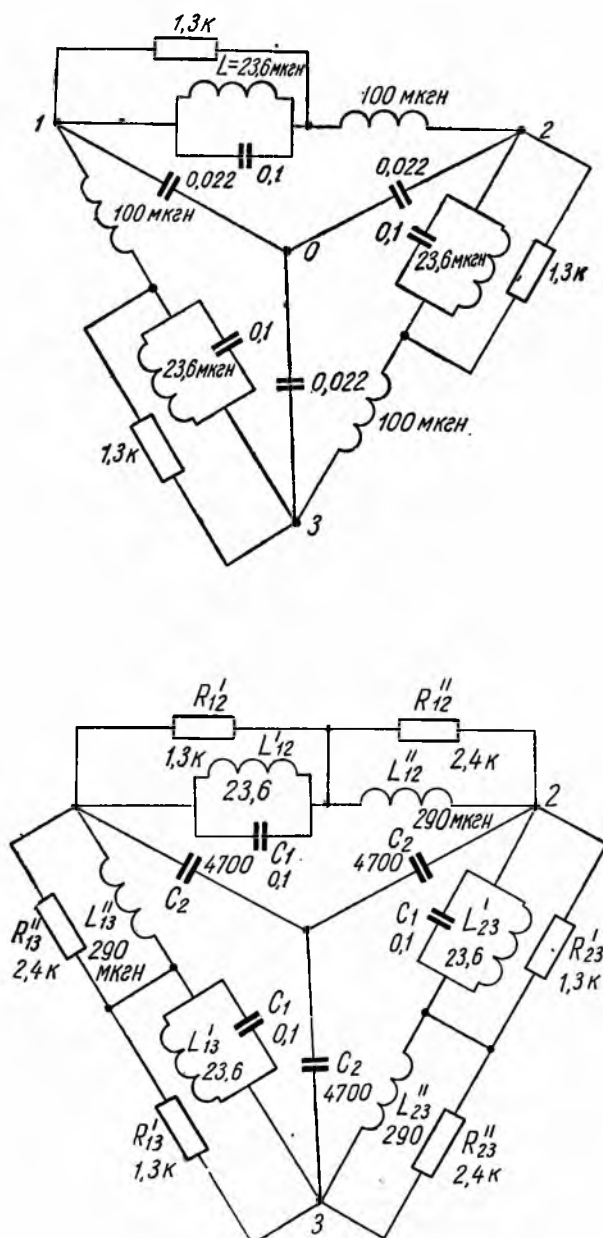


Рис. 8. Схема модели трансформатора по системе «фаза — фаза» и «фаза — земля».

Из рассмотренных моделей можно собирать различные конфигурации разветвленных сетей, в которые включены электродвигатели, кабели и трансформаторы.

На такой модели РСС можно

1) измерить рабочее затухание в различных точках сети и в соответствии с этим найти оптимальный диапазон частот по критерию «минимум затухания»;

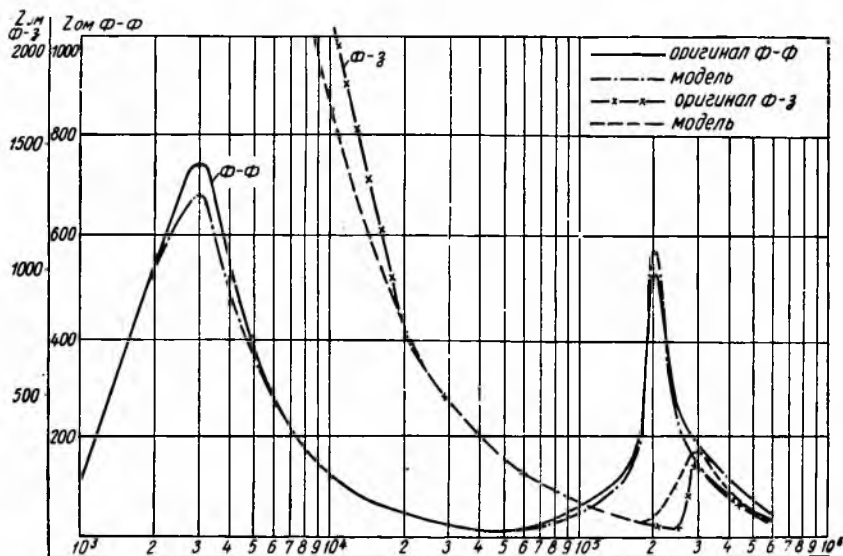


Рис. 9. Сравнительная характеристика трансформатора и его модели.

2) исследовать различные аварийные режимы (замыкание между фазами и на землю) работы канала и определить устойчивость работы системы телемеханики, у которой каналом служит данная сеть:

3) настраивать системы телемеханики;

4) определять места обработки разветвленной сети;

5) исследовать помехи, действующие в разветвленных энергетических сетях и уточнить рабочий диапазон частот по критерию «минимальный уровень помех».

ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Тафт. Основы методики расчета линейных электрических цепей. Изд-во АН СССР, 1954.
2. Н. Балабанян. Синтез электрических цепей. ГЭИ, 1954.
3. В. А. Веников. Применение теории подобия и физического моделирования в электротехнике. ГЭИ, 1949.
4. В. А. Веников и А. В. Иванов-Смоленский. Физическое моделирование электрических систем. Госэнергоиздат, 1952.
5. В. А. Веников. О современных задачах моделирования. Энергетика и транспорт, № 2. Изв. АН СССР, 1964.
6. Геллер и Веверка. Волновые процессы в электрических машинах. Госэнергоиздат, 1960.