

УДК 614.849

Исследование характеристик аппаратов защиты

Research of protect devices characteristics

Аннотация:

Предложен инструмент структурного моделирования аппаратов защиты электрических сетей, в том числе плавких предохранителей. Описаны компьютерные модели предохранителей, созданные с использованием метода структурного моделирования в программном комплексе «Моделирование в технических устройствах», позволяющие проводить исследование времятоковых характеристик реальных предохранителей, строить временные графики срабатывания предохранителей, вычислять время срабатывания при заданном токе. Показана сходимость результатов, полученных по компьютерной модели предохранителя ПН-2, с данными физических экспериментальных исследований.

Ключевые слова: аппараты защиты, плавкие предохранители, метод структурного моделирования, пожаробезопасность, компьютерное моделирование.

Abstract:

The proposed tool for the structural modeling of protection devices of electric networks, including thermal fuse. Described computer model of the fuse created using the structural modeling method in the software package «Simulation in technical devices», enabling to investigate time-current characteristics of the real fuse, build timelines fuse, calculate the response at a given current. The convergence of the results obtained by the computer model fuse PN-2 physical data of experimental studies.

Key words: protect devices, thermal fuse, method of structure modeling, fire safety, computer modeling.

И.А. Грищенко,

И.Н. Пожаркова

канд. техн. наук, доц.,

А.В. Чубарь

канд. техн. наук, доц.

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»

office@sfu-kras.ru

I.A. Grischenko,

I.N. Pozharkova

Candidate of Engineering Sciences, Docent,

A.V. Chubar

Candidate of Engineering Sciences, Docent

Siberian Federal University

Рецензент:

А.В. Мурыгин

д-р техн. наук, проф.

Аппараты защиты предназначены для защиты электрических сетей, машин и аппаратов от аварийных режимов (например, коротких замыканий, перегрузок), угрожающих сохранности электрооборудования и безопасности персонала. Однако при неправильном монтаже и эксплуатации они сами могут быть причиной аварии, пожара или взрыва, поскольку во время их работы возникают электрические искры, дуги и пр.

Наиболее часто применяемыми аппаратами защиты являются: плавкие предохранители; воздушные автоматические выключатели (автоматы); тепловые реле, применяемые в магнитных пускателях; устройства защитного отключения (УЗО).

Плавким предохранителем называется устройство, в котором при токе, превышающем допустимое значение, расплавляется одноразовый компонент, называемый плавкой вставкой, и размыкается электрическая цепь [1]. Плавкий предохранитель включает в себя плавкую вставку, подлежащую замене после срабатывания предохранителя, поддерживающее ее контактное устройство и патрон (корпус). Основной частью плавкой вставки является плавкий элемент.

Действие плавких предохранителей основано на выделении тепла в плавкой вставке при прохождении через нее электрического тока. При нормальной эксплуатации выделяющееся в процессе работы элемента тепло отводится в окружающую среду путем излучения, конвекции и теплопроводности. Если количество выделяющегося во вставке тепла больше отводимого, избыток тепла будет повышать температуру вставки до тех пор, пока снова не будет достигнут тепловой баланс при новой температуре, или вставка расплавится (перегорит). Плавкие предохранители характеризуются следующими параметрами:

- номинальное напряжение $U_{н.пр}$ – напряжение, указанное на предохранителе и соответствующее наибольшему номинальному напряжению сетей, в которых разрешается установка данного предохранителя;
- номинальный ток предохранителя $I_{н.пр}$ – ток, указанный на предохранителе и равный наибольшему из номинальных токов плавких вставок, предназначенных для данного предохранителя. На этот ток рассчитаны все токоведущие контактные части предохранителя;
- номинальный ток плавкой вставки $I_{н.вст}$ – указываемый на вставке ток, для которого она предназначена при длительной работе. Номинальный ток предохранителя всегда должен быть больше или равен номинальному току плавкой вставки, т.е. $I_{н.пр} \geq I_{н.вст}$;
- пограничный ток плавкой вставки I_{∞} – ток, при котором вставка расплавится через промежуток времени, достаточный для достижения ею установившейся температуры. Это время обычно равно 1-2 ч. Ток I_{∞} больше $I_{н.вст}$;
- предельный ток отключения предохранителя $I_{пр.пр}$ – наибольшее значение тока короткого замыкания (КЗ) сети, при котором гарантируется надежная работа предохранителей, т.е. дуга гасится без каких-либо повреждений патрона.

Предохранители обладают защитной, или времятоковой характеристикой (рис.1), представляющей собой зависимость времени полного отключения $\tau_{откл}$ от отношения ожидаемого тока в цепи (тока КЗ или перегрузки I) к номинальному току плавкой вставки.

В полное время отключения входит время нагревания вставки повышенным током I , ее расплавление, появление дуги и гашение.

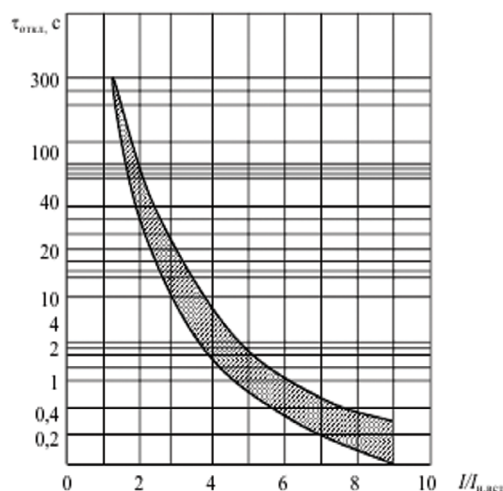


Рис.1. Защитная характеристика предохранителя

Характеристика (рис.1) является типовой, т.е. относящейся не к одному предохранителю, а к серии предназначенных для эксплуатации при разных номинальных токах $I_{н.вст}$ подобных предохранителей. Для характеристики каждой отдельной вставки на оси абсцисс откладывают не кратность тока нагрузки, а ток. Характеристики отдельных предохранителей отклоняются от средних значений из-за производственных допусков в размере и составе плавких вставок, различного качества и количества контактов, а также старения материала вставок в процессе эксплуатации, поэтому защитную характеристику изображают не линией, а в виде полосы, в пределах которой лежит возможное время отключения.

Получение времятоковых характеристик предохранителей осуществляется с помощью замеров цепи при проведении лабораторных испытаний с использованием специального электротехнического оборудования. В настоящее время с целью сокращения сроков и стоимости исследований и испытаний электротехнических устройств широко применяется метод структурного моделирования, заключающийся в представлении моделируемой системы в виде структурной схемы, состоящей из взаимосвязанных элементов и подсистем и отражающей связи между ними [2]. Моделирование каждого элемента системы осуществляется в отдельности, а затем из моделей элементов составляется общая модель. При этом в зависимости от глубины описания и уровня детализации при моделировании могут выделяться как основные подсистемы и устанавливаться главные взаимосвязи между ними, так и может осуществляться детальное моделирование механизмов функционирования различных подсистем и их элементов. Таким образом, метод структурного моделирования, отличающийся срав-

нительной простотой, в сочетании с современными программными средствами является эффективным инструментом для решения ряда задач по исследованию и анализу технических систем.

По функциональным возможностям, экономичности в использовании вычислительных ресурсов, удобству пользовательского интерфейса для компьютерной реализации метода структурного моделирования аппаратов защиты следует выделить отечественный программный комплекс «Моделирование в технических устройствах» (ПК «МВТУ») [3]. Данный комплекс является альтернативой программным продуктам SIMULINK, VisSim, MATRIXx и др, в отличие от которых распространяется свободно. Визуальные, интерактивные средства моделирования, используемые в ПК «МВТУ», сопроводительная документация и методическое обеспечение, отличающееся «прозрачностью» и доступностью для понимания, позволяют пользователю при наличии элементарных навыков работы в среде операционной системы Windows за кратчайший срок изучить его и успешно работать в его среде, вследствие чего ПК «МВТУ» является оптимальной средой для детального исследования систем, которые могут быть представлены структурными моделями.

Окно программы состоит из панели управления (рис.2) и рабочего поля, на котором собирается схема из блоков различных библиотек [4].

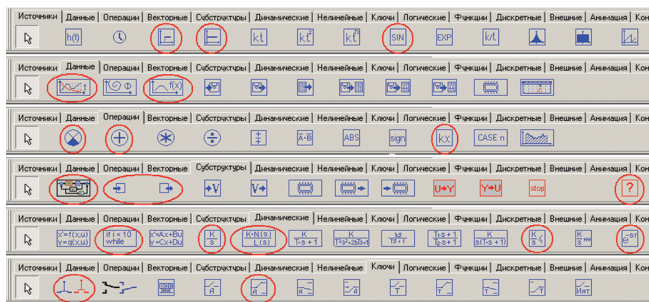


Рис.2. Панель управления ПК «МВТУ»

Ниже приведено краткое описание основных блоков, используемых при создании структурных моделей аппаратов защиты.

1. Библиотека блоков «Источники» (рис.2 а) (используются для создания источников сигналов):
 - «Ступенька» - ступенчатое воздействие.
 - «Константа» - постоянное воздействие.
2. Библиотека блоков «Данные» (рис.2 б) (используются для создания приемников сигналов):
 - «Временной график» - построение графика изменяющегося во времени сигнала $y(t)$;

- «График» - построение графика $y(x)$.
3. Библиотека блоков «Операции» (рис.2 в) (используются для операций над сигналами):
 - «Сравнивающее устройство» - вычисляет разность сигналов;
 - «Сумматор» - вычисляет сумму сигналов;
 - «Усилитель» - умножает величину входного сигнала на заданный коэффициент.
 4. Библиотека блоков «Динамические» (рис.2 г) (используются для задания динамических звеньев):
 - «Язык программирования»;
 - «Идеальное интегрирующее звено»;
 - «Динамическое звено общего вида»;
 - «Интегратор с ограничениями»;
 - «Идеальное запаздывающее звено».
 5. Библиотека блоков «Субструктуры» (рис.2 д) (используются для задания создания функциональных моделей объектов):
 - «Макроблок» - формирует «оболочку» для создания вложенной структуры, набранной как из типовых блоков, так и из Макроблоков (Субмоделей) более глубокого уровня вложенности;
 - «Порт входа»;
 - «Порт выхода»;
 - «Комментарий» - предназначен для выполнения поясняющих текстовых сообщений в специальном текстовом окне.
 6. Библиотека блоков «Ключи» (рис.2 е) (используются для маршрутизации сигнала):
 - «Ключ управляющий» - реализует функции управляющего ключа, замыкающего или размыкающего линии связи на структурной схеме;
 - «Ключ-2А» - реализует функцию управляемого ключа.

Модель создается как совокупность блоков из соответствующих библиотек, соединенных связями. На рис.3 представлена модель для определения тока срабатывания предохранителя. Для первого предохранителя он равен 40 ампер, а для второго 20 ампер.

Блок «Ток Цепи» (рис.4) и блок «Идеальный предохранитель» (рис.5), организованы как макроблоки, включающие набор типовых блоков из библиотек (рис.2).

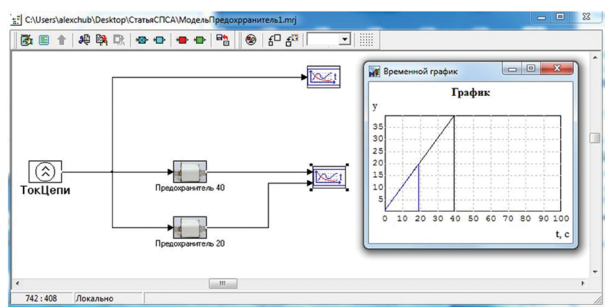


Рис.3. Модель для исследования тока срабатывания предохранителя

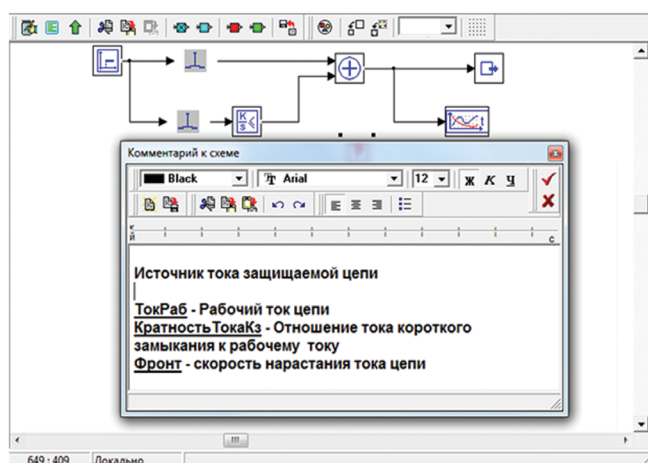


Рис.4. Модель макроблока «Ток Цепи»

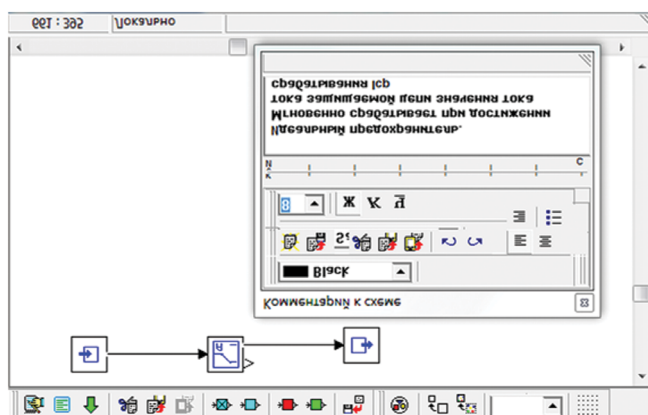


Рис.5. Модель макроблока «Идеальный предохранитель»

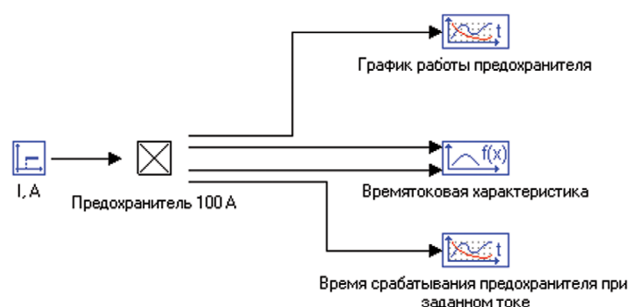


Рис.6. Модель для исследования времятоковой характеристики реального предохранителя

На рис.6 представлена модель для исследования времятоковой характеристики реального предохранителя, на выходе которой строится временной график срабатывания предохранителя, вычисляется время его срабатывания при заданном токе, а также строится график времятоковой характеристики.

Модель реального предохранителя реализуется макроблоком, включающим типовой блок программирования (рис.7), на вход которого из вне поступает текущий ток, протекающий через предохранитель.

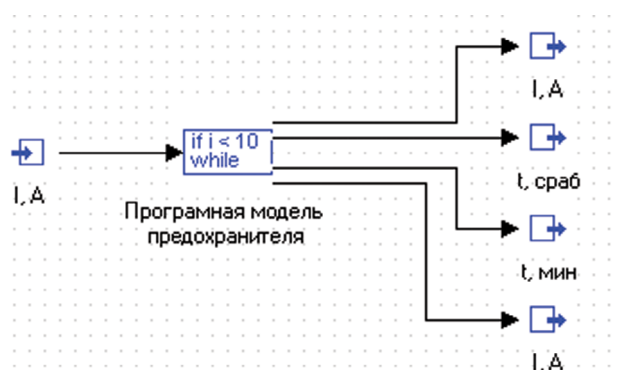


Рис.7. Структура макроблока «Реальный предохранитель»

На рис.8 представлен текст программы на языке «Блока программирования» библиотеки «Динамические» (рис. 2 д).

Алгоритм работы модели следующий: внутри модели вносится времятоковая характеристика предохранителя в виде таблицы значений. Затем проверяется условие (условие 1), что входной ток больше чем номинальный. Если условие выполняется, то в переменную записывается момент времени, когда это произошло. Далее вычисляется время срабатывания предохранителя. Для этого производится линейная интерполяция таблично заданной времятоковой характеристики и рассчитывается время срабатывания для входного значения тока. Затем проверяется условие того, что текущее время меньше, чем сумма времени, которое было записано в переменную на предыдущем шаге, и вычисленного времени срабатывания. Если условие выполняется, то выходной ток предохранителя равен входному току. Иначе - выходной ток равен нулю. Если условие 1 не выполняется, то выходной ток предохранителя равен входному току.

На рис.9 представлена экспериментально снятая времятоковая характеристика предохранителя ПН-2 с номинальным током 100 А.


```

1 input y;
2 output x;
3 output deltaT;
4 output i[0],t[0];
5 initialization
6 i=[10*Inom 5*Inom 3*Inom 2*Inom 1.6*Inom 1.5*Inom 1.4*Inom 1.3*Inom];
7 t=[0.066 0.19 5.515 60.41 291.32 461.56 720.53 1128.69];
8 M = linterp(i,t);
9 M1 = linterp(i,t)
10 flag1=0;
11 flag =0;
12 end;
13 if (flag1 = 0) then
14     if (y > Inom) then begin
15         ImpStart = time;
16         flag1 = 1;
17     end;
18 x = y;
19 if y > Inom then begin
20     deltaT = interpol(y,M);
21     if(y > Inom*10) then
22         deltaT = 0.0004;
23     if time <= ImpStart + deltaT then
24         x = y
25     else begin
26         x = 0;
27         flag = 1;
28     end;
29 end
30 if (flag = 1) then
31     x = 0;

```

Рис.8. Программа, реализующая модель реального предохранителя

$I_{нагр}$	t_{min}	t_{max}
130	974,51	1282,9
140	637,3	804,06
150	415,08	511,04
160	253,36	329,28
200	60,41	81,74
300	4,89	6,14
500	0,17	0,21
1000	0,002	0,13

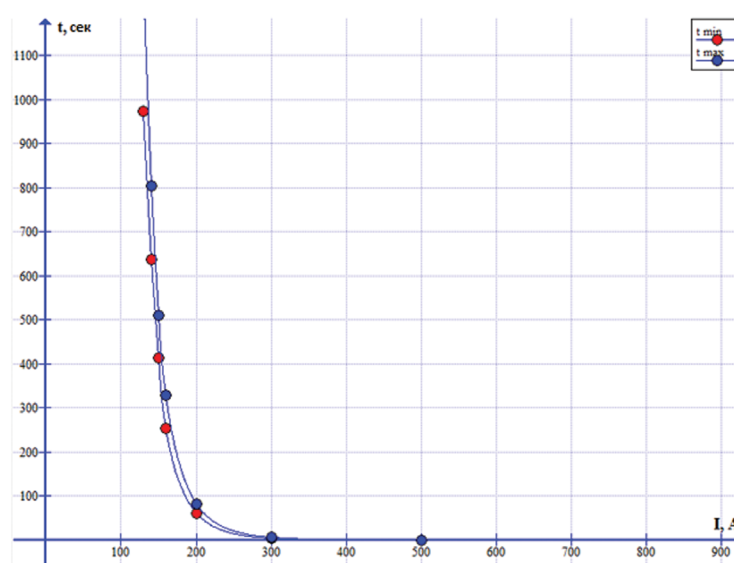


Рис. 9. Экспериментально снятая времятоковая характеристика предохранителя ПН-2

На рис.10 представлена времятоковая характеристика, полученная в модели (рис.6). Наблюдается ее полная идентичность реальной характеристике (рис.9).

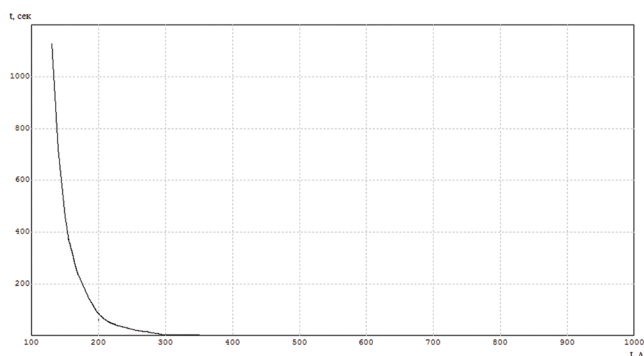


Рис.10. Реализация времятоковой характеристики предохранителя ПН-2 в ПК «МВТУ»

Разработанные модели будут доработаны с учетом защитных характеристик предохранителей. Аналогичным образом будут построены структурные модели других типов аппаратов защиты.

Анализ характеристик предохранителя, полученных в результате компьютерного моделирования, показал их высокую сходимость с данными экспериментальных исследований. Это позволяет сделать вывод об адекватности структурной моде-

ли исследуемой системы и дает основание, наряду с лабораторными исследованиями, на ее основе проводить компьютерные эксперименты по изучению характеристик аппаратов защиты.

Литература

1. Родштейн Л. А. Электрические аппараты: Учебник для техникумов. Четвертое издание, переработанное и дополненное. Ленинград. Энергоатомиздат. Ленинградское отделение, 1989.—304 с.
2. Карташов Б.А. Структурное моделирование технических систем: учеб. пособие / Б.А. Карташов, А.Б. Карташов, С.Н. Литвинов. – Зерноград: АЧГАА, 2007. – 237 с.
3. Инструкция пользователя программным комплексом «Моделирование в технических устройствах» (ПК «МВТУ», версия 3.5) / О.С. Козлов, Д.Е. Кондаков, Л.М. Скворцов, К.А. Тимофеев, В.В. Холодовский. – М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2007. – 187 с.
4. Теория автоматического управления: учебно-методическое пособие для выполнения лабораторных работ [Электронный ресурс] / сост. И.Н. Пожаркова, А.В.Чубарь. – Электрон. дан. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012. – 81 с., 81/60 с.