

Рисунок 2 – Алгоритм расчета корректировки электроснабжения добычного участка

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочник по электроустановкам угольных предприятий. Электроустановки угольных шахт: Справочник / В.Ф. Антонов, Ш.Ш. Ахмедов, С.А. Волотковский и др. М.: Недра, 1988. 727 с.
2. Электрооборудование и электроснабжение участка шахты: Справочник / Р.Г. Беккер и др. М.: Недра, 1983. 503 с.
3. Дзюбан В.С., Риман Я.С., Маслий А.К. Справочник энергетика угольной шахты. М.: Недра, 1983. 542 с.
4. Овсянников Ю.А., Кораблев А.А., Топорков А.А. Автоматизация подземного оборудования: Справочник рабочего. М.: Недра, 1990. 287 с.
5. Риман Я.С., Соловей А.И. Устройства и эксплуатация электрооборудования стационарных установок шахт: Справочник рабочего. М.: Недра, 1991. 284 с.

**УДН 621.316.9**

**БРЕЙДО И.В.,  
СМАГУЛОВА И.К.,  
ИСКАНОВ У.К.**

### Методы адаптации параметров аппарата защиты от токов утечки в условиях колебания напряжения

Для обеспечения безопасности эксплуатации электрических сетей с изолированной нейтралью и электрооборудования в горнодобывающей промышленности широко применяются аппараты защиты от токов утечки. Ответственность решаемых с помощью аппаратов защиты от токов утечки задач делает необходимым предъявление особенно жестких требований к надежности и устойчивости работы этих аппаратов, к стабильности их характеристик и точности измерения контролируемых параметров изоляции сети.

Вследствие сложности физических явлений, связанных с токами утечки, известные на данный момент методы защиты, разработанные для аппаратов защиты от токов утечки, не в полной мере отвечают предъявляемым требованиям. В существующих аппаратах не осуществляется автоматической подстройки уставки срабатывания, что приводит к увеличению максимально допустимого длительного тока при двухфазном замыкании и при колебаниях напряжения контро-

лируемой сети. В подземных сетях электроснабжения в процессе эксплуатации периодически изменяется протяженность защищаемых линий. Неконтролируемые изменения параметров защищаемых сетей приводят к снижению эффективности средств защиты. В сущности, аппарат защиты должен обладать адаптивными свойствами к изменяющимся характеристикам сети [1].

Разработка адаптивной системы защиты от токов утечки предлагается осуществить методами нечеткой логики. В области управления техническими системами методы нечеткой логики позволяют получать более эффективные результаты по сравнению с результатами, которые основываются на использовании традиционных аналитических моделей и алгоритмов управления.

Для получения представления о процессах, протекающих в сети с изолированной нейтралью, а также получения данных, необходимых для формирования

критериев алгоритма управления, разработана модель сети в среде Matlab 7.01.

В качестве реагирующего элемента аппарата защиты от токов утечки, используется схема 3V. Схема 3V представляет собой систему вентиляей, выпрямляющих оперативный ток в цепи изоляции сети. Из полученных в ходе экспериментов осциллограмм определены основные особенности процессов, происходящих на выходе схемы 3V, при однофазном и двухфазном замыканиях.

Для формирования входных переменных алгоритма произведен предварительный анализ данных методом нечеткой логики. В результате предложена переменная «сигнал напряжения», являющаяся продуктом нечеткого вывода. Данная переменная отображает наличие и количество фаз утечки.

В соответствии с порядком процедур нечеткого вывода алгоритмом Мамдани [2], составлена база правил, являющаяся основой алгоритма управления.

Для формирования базы правил систем нечеткого вывода необходимо предварительно определить входные и выходные лингвистические переменные.

Очевидно, что в качестве одной из входных лингвистических переменных следует использовать амплитуду напряжения на выходе схемы 3V:  $\beta_1$  – «амплитуда напряжения», а в качестве второй входной лингвистической переменной  $\beta_2$  – «сигнал напряжения».

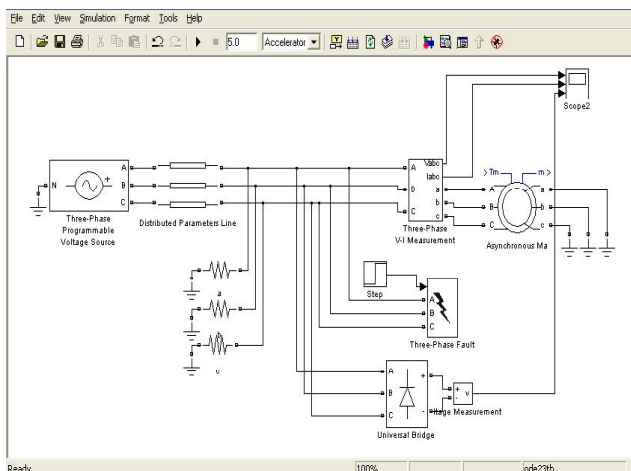


Рисунок 1 – Модель сети с изолированной нейтралью

В качестве выходной лингвистической переменной будем использовать уставку срабатывания аппарата:  $\gamma$  – «уставка срабатывания».

В этом случае система нечеткого вывода будет содержать 15 правил нечетких продукций следующего вида:

- Правило\_1: Если  $\beta_1$  есть PB и  $\beta_2$  есть NS, то  $\gamma$  есть PB,
- Правило\_2: Если  $\beta_1$  есть PB и  $\beta_2$  есть ZE, то  $\gamma$  есть PB,
- Правило\_3: Если  $\beta_1$  есть PB и  $\beta_2$  есть PS, то  $\gamma$  есть PB,
- Правило\_4: Если  $\beta_1$  есть PS и  $\beta_2$  есть NS, то  $\gamma$  есть PS,
- Правило\_5: Если  $\beta_1$  есть PS и  $\beta_2$  есть ZE, то  $\gamma$  есть PS,
- Правило\_6: Если  $\beta_1$  есть PS и  $\beta_2$  есть PS, то  $\gamma$  есть PB,
- Правило\_7: Если  $\beta_1$  есть ZE и  $\beta_2$  есть NS, то  $\gamma$  есть ZE,
- Правило\_8: Если  $\beta_1$  есть ZE и  $\beta_2$  есть ZE, то  $\gamma$  есть ZE,
- Правило\_9: Если  $\beta_1$  есть ZE и  $\beta_2$  есть PS, то  $\gamma$  есть PB,

- Правило\_10: Если  $\beta_1$  есть NS и  $\beta_2$  есть NS, то  $\gamma$  есть NS,
- Правило\_11: Если  $\beta_1$  есть NS и  $\beta_2$  есть ZE, то  $\gamma$  есть NS,
- Правило\_12: Если  $\beta_1$  есть NS и  $\beta_2$  есть PS, то  $\gamma$  есть PB,
- Правило\_13: Если  $\beta_1$  есть NB и  $\beta_2$  есть NS, то  $\gamma$  есть NB,
- Правило\_14: Если  $\beta_1$  есть NB и  $\beta_2$  есть ZE, то  $\gamma$  есть NB,
- Правило\_15: Если  $\beta_1$  есть NB и  $\beta_2$  есть PS, то  $\gamma$  есть PB,

где NB (negative big) – отрицательно большое значение; NS (negative small) – отрицательно малое значение; ZE (approximately zero) – близкое к нулю; PS (positive small) – положительно малое значение; PB (Positive Big) – положительно большое значение.

Следующим шагом моделирования является фазификация входных переменных, представляющая процедуру получения четкого значения.

В качестве терм множества первой входной переменной будем использовать терм множество  $T_1 = \{NS, ZE, PS\}$  с функцией принадлежности, показанной на рисунке 2. В качестве терм множества второй переменной будем использовать терм множество  $T_2 = \{NB, NS, ZE, PS, PB\}$  с функцией принадлежности, показанной на рисунке 3. В качестве терм множества выходной переменной будем использовать терм множество  $T_3 = \{NB, NS, ZE, PS, PB\}$  с функцией принадлежности, показанной на рисунке 4.

Используя в качестве алгоритма вывода алгоритм Мамдани, рассмотрим пример его выполнения для случая, когда текущая амплитуда напряжения на выходе схемы 3V равна 400В, а сигнал напряжения равен 0. В этом случае фазификация первой входной переменной приводит к значению истинности 0,52 для терма NS, а фазификация второй входной переменной приводит к значению истинности 1 для терма ZE. Соответствующие подусловия используются в правиле нечеткой продукции с номером 11. Это правило считается активным и используется в текущем процессе нечеткого вывода.

Агрегирование с использованием операции нечеткой конъюнкции (1) подусловий 11 дает в результате число 0,52. Следующим этапом нечеткого вывода является заключение в нечетких правилах. Поскольку все заключения правил 1-15 заданы в форме нечетких лингвистических высказываний первого вида, а весовые коэффициенты правил по умолчанию равны 1, то активизация правила 11 приводит к одному нечеткому множеству:

$$T_3(T_1 \cap T_2) = \min\{T_1(\beta_2), T_2(\beta_2)\}. \quad (1)$$

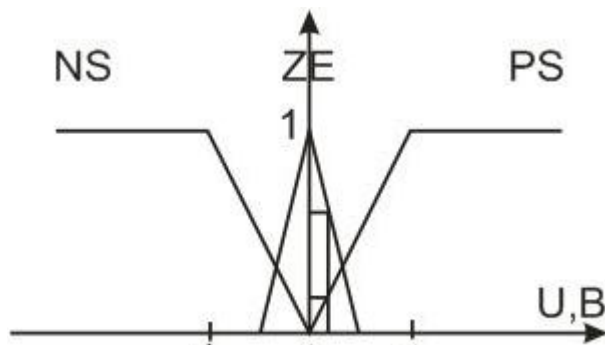


Рисунок 2 – Функция принадлежности «сигнал напряжения»

Аккумуляция заключений нечетких правил с использованием операции дизъюнкции по максимальному значению для правила 11 в результате приводит к нечеткому множеству, функция принадлежности которого изображена на рисунке 5.

Дефазификация выходной лингвистической переменной методом центра площади для значений функции принадлежности, изображенной на рисунке 5, приводит к значению управляющей переменной, равной уставке срабатывания аппарата 8,5 Ком (приближенное значение). Эта величина является допустимым

значением уставки срабатывания аппарата в случае понижения напряжения сети на 15% от номинального.

В результате разработан алгоритм, обеспечивающий автоматическое изменение уставок защиты при изменении напряжения сети с изолированной нейтралью, а также при одно- и двухфазных утечках. Применение данного алгоритма управления для аппаратов защиты от токов утечки позволит повысить надежность и устойчивость системы защиты, предотвращая ложные срабатывания и появление токов утечки выше предельно допустимых значений.

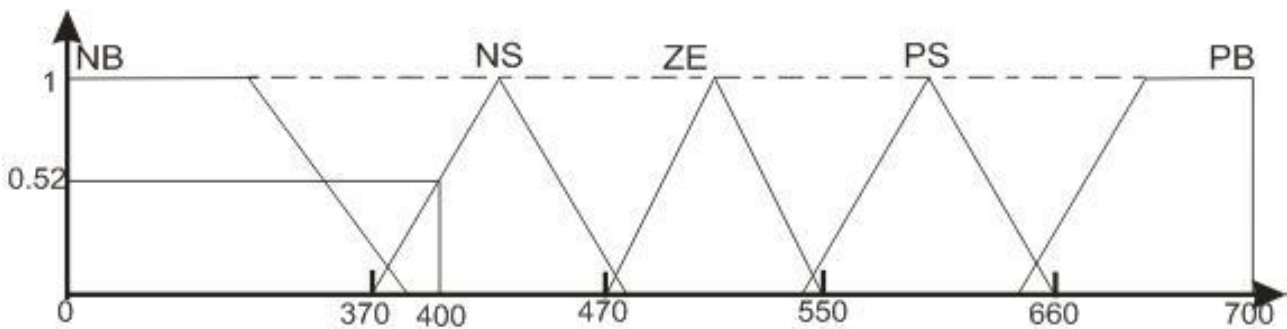


Рисунок 3 – Функция принадлежности «амплитуда напряжения»

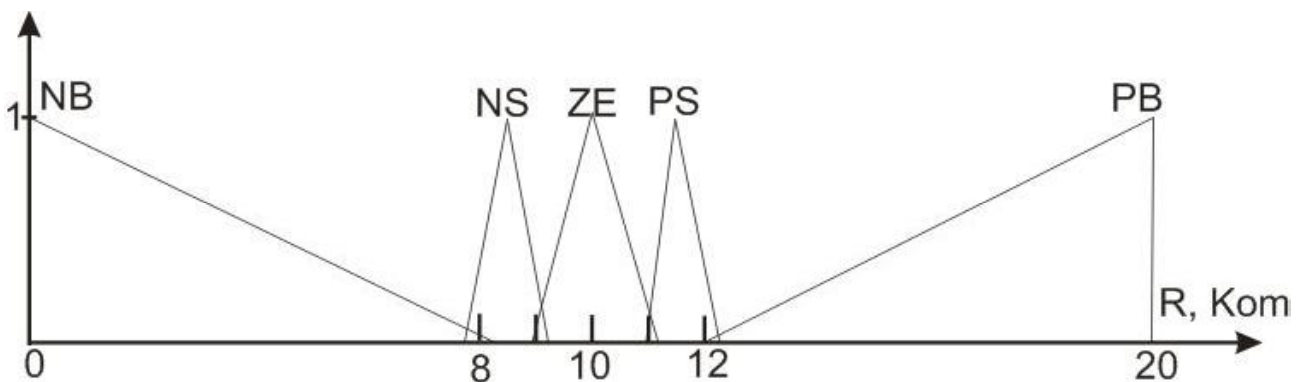


Рисунок 4 – Функция принадлежности «уставка срабатывания»

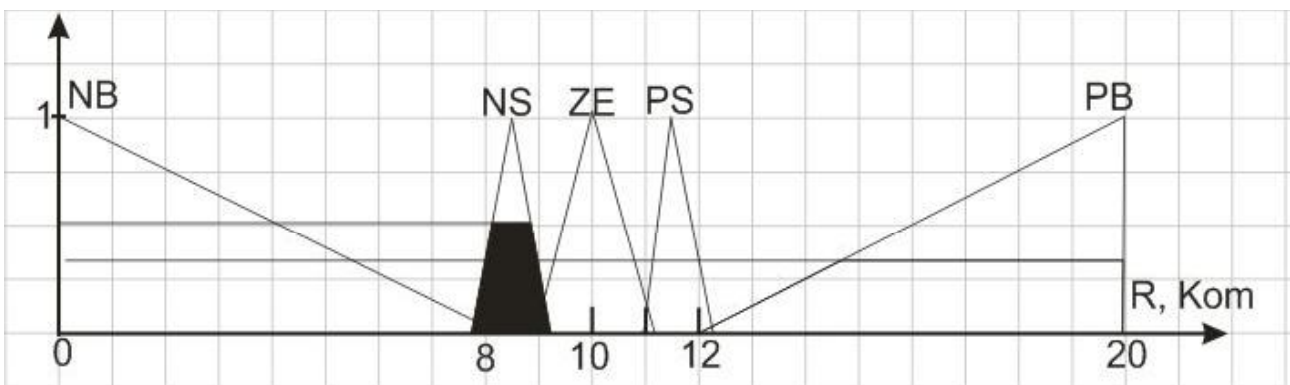


Рисунок 5 – График функции принадлежности двух нечетких множеств лингвистической переменной «уставка срабатывания» после аккумуляции

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дзюбан В.С. Аппараты защиты от токов утечки в шахтных электрических сетях. М.: Недра, 1982. 152 с .
2. Леоненков А. Нечеткое моделирование в среде Matlab и Fuzzytech. СПб, 2005.