

## О ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ЗАЩИТ

В литературе имеются указания о возможности построения характеристик дифференциальных (продольных) защит в осях токов [1, 2]. В [3] описаны идеализированные характеристики дифференциально-фазной защиты (ДФЗ), основанные на экспериментальных данных. Представляет практический интерес сопоставление различных типов дифференциальных защит с целью выбора или классификации с помощью некоторых общих характеристик. Для симметричного стационарного режима рассмотрены теоретические характеристики идеальных дифференциальных защит в той же форме, что и характеристики ДФЗ [3].

Для простоты рассматривается зона действия с двумя входами, первичные токи которых удовлетворяют первому закону Кирхгофа при отсутствии повреждения или внешнем повреждении

$$\dot{I}_I + \dot{I}_{II} = 0. \quad (1)$$

Если трансформаторы тока одинаковы, то будут равны выражения для первичных и вторичных токов. Считаем, что это так, а также что одинаковы все промежуточные измерительные элементы, включенные после трансформаторов тока.

Условие срабатывания дифференциальной защиты

$$|\dot{I}_I + \dot{I}_{II}| \geq I_{\text{ср}}, \quad (2)$$

где  $I_{\text{ср}}$  — ток срабатывания реагирующего органа защиты при одностороннем питании места повреждения,  $I_{\text{ср}} = \text{const}$ .

Комплексное уравнение границы между областью срабатывания и областью несрабатывания, т.е. аналитическое выражение характеристики защиты, может быть записано так:

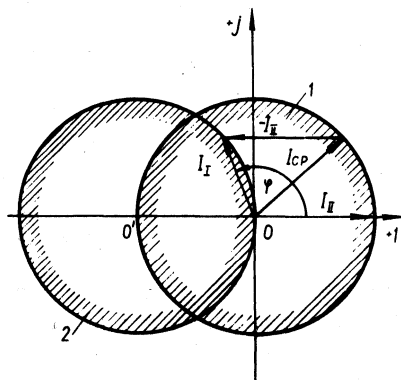
$$\dot{I}_I + \dot{I}_{II} = \dot{I}_{\text{ср}}. \quad (3)$$

Токи входов в общем случае изменяются независимо друг от друга, поэтому выражение (3) в общем виде не может иметь отображения в комплексной плоскости и требует пространственного отображения, которое, отличаясь полнотой, все-

таки весьма сложно. Если зафиксировать один из этих векторов по величине и фазе, то характеристика в комплексной плоскости (рис. 1) будет определяться изменением другого вектора:

$$\dot{i}_I = \dot{i}_{cp} - \dot{i}_{II} \text{ или } \dot{i}_{II} = \dot{i}_{cp} - \dot{i}_I. \quad (4)$$

Рис. 1. Характеристика дифференциальной защиты в комплексной плоскости токов: 1 —  $|\dot{I}_{cp}| = \text{const}$ ; 2 —  $\dot{I}_I = \dot{I}_{cp} - \dot{I}_{II}$ .



Необходимо заметить, что векторы токов приняты совпадающими по фазе при внутреннем повреждении.

В условиях, когда оба вектора лежат на действительной оси, условие срабатывания имеет следующий вид:

$$|I_I + I_{II}| \geq I_{cp}. \quad (5)$$

Граничное уравнение

$$I_I + I_{II} = \pm I_{cp}. \quad (6)$$

Соответствующая характеристика в осях токов  $I_I - I_{II}$  представляет собой две параллельные прямые, проходящие одна через точки  $I_I = I_{cp}, I_{II} = I_{cp}$ , другая через  $I_I = -I_{cp}, I_{II} = -I_{cp}$ .

Для дифференциальной защиты с торможением (ДЗТ), линейно зависящим от токов, т.е. для идеальной защиты такого типа, условие срабатывания может быть записано так:

$$|\dot{I}_I + \dot{I}_{II}| \geq I_{cp} \min + k_T \left\{ |\dot{I}_I| + |\dot{I}_{II}| \right\}. \quad (7)$$

Здесь  $I_{\text{ср. min}}$  — ток срабатывания защиты при отключенном торможении и одностороннем питании;  $k_T$  — коэффициент торможения.

Уравнение комплексной характеристики ДЗТ

$$|\dot{I}_I + \dot{I}_{II}| = I_{\text{ср. min}} + k_T |\dot{I}_I| + k_T |\dot{I}_{II}|. \quad (8)$$

При одностороннем питании

$$|\dot{I}_I| = I_{\text{ср. min}} + k_T |\dot{I}_I| \quad (9)$$

или

$$|\dot{I}_{II}| = I_{\text{ср. min}} + k_T |\dot{I}_{II}|.$$

Выражение (9) иллюстрирует положение, по которому  $k_T$  должен приниматься меньше единицы.

Разрешая (8) относительно  $I_I$  (при  $k_T = 0,5$  и  $I_{\text{ср. min}}/I_{II} = 1/3$ ), получаем в декартовых координатах

$$x^4 + 2x^2y^2 + y^4 + 16x^3 + 16xy^2 + 60x^2 - 3,76y^2 + 58,4x + 13,45 = 0. \quad (10)$$

В полярных координатах (10) значительно упрощается

$$I_I^2 + (8 \cos \varphi - 3,33) I_I + 3,67 = 0. \quad (11)$$

В частном случае, когда торможение только от  $I_I$

$$I_I^2 + (8 \cos \varphi - 1,335) I_I + 10,7 = 0. \quad (12)$$

Когда торможение только от  $I_{II}$ :

$$I_I^2 + 6I_I \cos \varphi + 2,75 = 0. \quad (13)$$

Соответствующие выражениям (11)–(13) кривые представлены на рис. 2, а.

На действительной оси условие срабатывания ДЗТ, исходя из (7), можно записать в следующем виде:

$$|I_I + I_{II}| \geq I_{cp \min} + k_T |I_I| + k_T |I_{II}|. \quad (14)$$

Уравнение токовой характеристики записываем аналогично (6)

$$I_I + I_{II} = \pm I_{cp \min} \pm k_T |I_I| \pm k_T |I_{II}|. \quad (15)$$

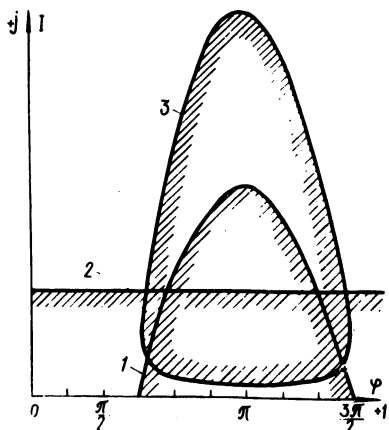
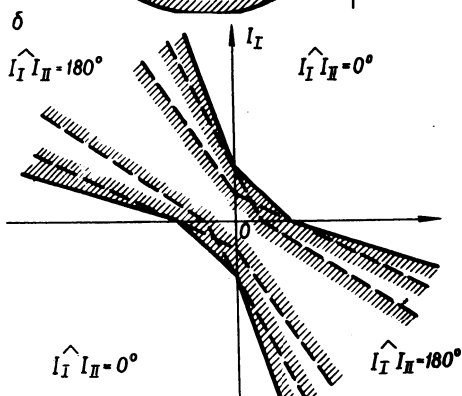
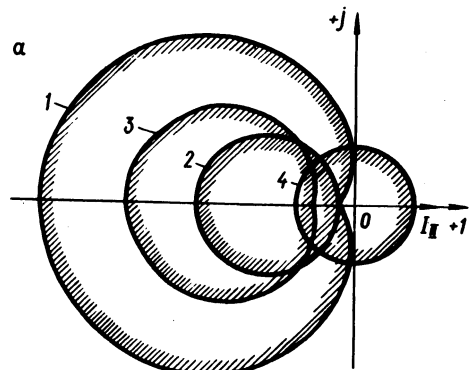


Рис. 2. Характеристики дифференциальной защиты с линейно зависимым торможением при  $k_T = 0,5$  и  $I_{cp \min} / I_{II} = 1/3:1$  — торможение от двух токов; 2 — торможение только от  $I_{II}$ ; 3 — торможение только от  $I_I$ ; 4 — одностороннее питание при наличии торможения.

Рис. 3. Практически более удобный вид комплексных характеристик дифференциальных защит: 1, 2 — преобразование характеристики рис. 1; 3 — та же кривая 1 рис. 2, а.

Характеристики по выражению (15) представлены на рис. 2, б.

Заметим, что характеристики в комплексной плоскости токов удобно строить, воспользовавшись преобразованием [3]:

$$i' = \arg i + j |i|. \quad (16)$$

Рис. 3. иллюстрирует преобразованные характеристики.

### В ы в о д ы

Относительная величина областей срабатывания и несрабатывания наглядно качественно характеризуют селективность и чувствительность дифференциальных защит.

Графо-аналитические характеристики описанного вида могут быть основой для графических построений, выявляющих количественные показатели дифференциальных защит: чувствительность, допустимые погрешности, допустимое неравенство токов [3], ток небаланса и т.д.

Предлагаемые характеристики с достаточной полнотой описывают поведение защиты в рамках принятых допущений и вне зависимости от ее конструктивного исполнения.

Характеристики в описанной форме могут быть получены непосредственно экспериментально в функции первичных токов или любых пропорциональных вторичных величин.

Предложенные характеристики могут служить основой для оценки, сопоставления и классификации дифференциальных защит.

### Л и т е р а т у р а

1. Атабеков Т.И. Теоретические основы релейной защиты высоковольтных сетей. М.—Л., 1957. 2. Федосеев А.М. Основы релейной защиты. М.—Л., 1961. 3. Соколик Л.И. О характеристиках дифференциально-фазной защиты. — "Изв. вузов. СССР. Энергетика", 1968, № 10.

Э.А. Скварко, В.С. Валуев, Н.С. Микулович

### РАСЧЕТ НА ЭЦВМ ТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ В ТРЕХФАЗНЫХ КОРОБЧАТЫХ ТОКОПРОВОДАХ ПРИ ПРОИЗВОЛЬНОМ РАСПОЛОЖЕНИИ ШИН

В современных электроустановках с рабочими токами 10 кА и выше широкое применение получили пакетные коробчатые токопроводы различного сечения и взаимного расположения фаз. Переменный ток в таких токопроводах распределяется по сечению шины неравномерно вследствие поверхностного эффекта и