

Г. Г. ГИМОЯН, Ш. А. АРОЯН

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФИЛЬТРОВ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ ОБРАТНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ В СХЕМАХ МАКСИМАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ

Известно, что схемы защит от коротких замыканий и ненормальных режимов с применением фильтров симметричных составляющих реагируют не только на количественные, но и на качественные изменения электрических параметров защищаемой установки. Поэтому при применении их в сетях с малыми кратностями токов короткого замыкания (горные, сельскохозяйственные, лесотехнические и др.), защита получается со значительно лучшими параметрами по чувствительности и селективности, чем при устройствах, использующих полные токи.

Если учесть, что при любом несимметричном повреждении в трехфазной сети возникают как токи, так и напряжения обратной последовательности, казалось бы, нет особой разницы при выполнении вышеуказанных защит использовать фильтры тока или напряжения. Однако, это не так. В подтверждение сказанного на рис. 1 приведены

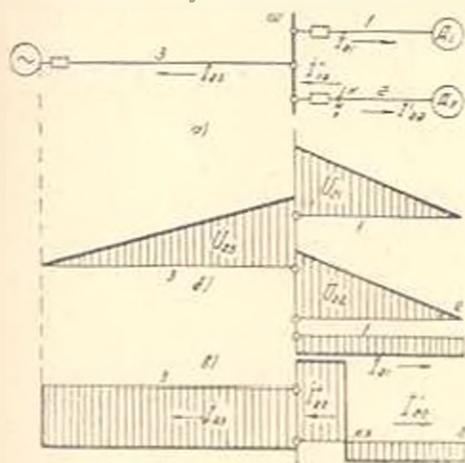


Рис. 1 Двухфазное короткое замыкание в простейшей сети: а — схема сети; б — распределение напряжений обратной последовательности; в — распределение токов обратной последовательности

потенциальные диаграммы распределения напряжений и токов обратной последовательности вдоль простейшей сети при двухфазном коротком замыкании в точке К. Здесь  $A_1$  и  $A_2$  — двигатели,  $Z$  — питающая

линия. Если для простоты допустить, что мощность источника питания несоизмеримо велика по сравнению с мощностями двигателей, то напряжения обратной последовательности  $U_{21}$ ,  $U_{22}$  и  $U_{23}$ , соответствующие ветвям двигателей  $A_1$  и  $A_2$  и линии, распределятся так, как показано на рис. 1, б. Они максимальны в месте короткого замыкания и, постепенно снижаясь, равны нулю в конце приемника. Поэтому, если короткое замыкание произойдет вблизи шин Ш, напряжения  $U_{21}$ ,  $U_{22}$  и  $U_{23}$  будут равны друг другу и равны напряжению обратной последовательности в месте короткого замыкания, вследствие чего защита с использованием фильтров напряжения будет лишена селективности.

Совершенно иначе распределяются при этом же повреждении токи обратной последовательности. Ввиду того, что они генерируются в точке короткого замыкания, а затем растекаются по всей сети, диаграмма их распределения будет иметь вид, представленный рис. 1, в. На последнем за положительное принято направление токов, притекающих к шинам. Поэтому токи  $I_{21}$ ,  $I_{22}$ ,  $I_{23}$  отложены ниже оси ветвей 1, 2, 3, а ток  $I_{20}$ , являющийся током через выключатель поврежденного двигателя, — выше этой оси. Величина его равна:

$$I_{20} = I_{21} + I_{22} \quad (1)$$

Благодаря условию  $I_{20} \gg I_{21}$  защиту с использованием фильтров тока легко отстроить от коротких замыканий вне зоны действия и добиться надежного действия ее при повреждениях в зоне.

Аналогичное о вышеназванных защитах можно сказать при ненормальных режимах, сопровождающихся искажением токов и напряжений в сети. Так, на рис. 2 приведены распределения напряжения и тока обратной

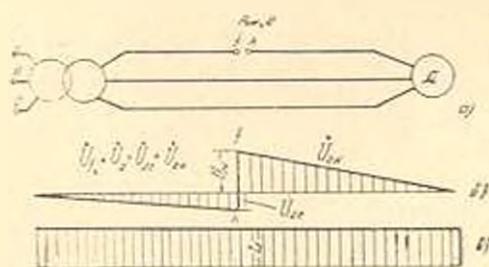


Рис. 2. Работа двигателя в неополнофазном режиме: а — схема сети; б — распределение напряжений обратной последовательности; в — распределение токов обратной последовательности

последовательности при обрыве фазы. Здесь, как и в предыдущем случае, напряжение обратной последовательности  $U_2 = U_{1h}$  (рис. 2, б) максимально в месте повреждения. Составляющие его  $U_{21}$  и  $U_{2r}$  — напряжения обратной последовательности ветвей нагрузки и сети в месте

повреждения — прямо пропорциональны их сопротивлениям обратной последовательности:

$$U_{2r} = I_0 Z_{2r}; \quad U_{2n} = I_0 Z_{2n}, \quad (2)$$

где  $I_0$  — ток обратной последовательности при обрыве фазы;  $Z_{2r}$  и  $Z_{2n}$  — сопротивления обратной последовательности ветвей сети и двигателя.

Ввиду непостоянства отношения  $Z_{2r}/Z_{2n}$  (зависящего от таких факторов, как мощности питающих трансформаторов и сопротивления линии, количество одновременно работающих двигателей, мощность и скольжение поврежденного двигателя)  $U_{2n}$  и  $U_{2r}$  также будут непостоянны. При мощной сети, когда  $Z_{2r} \ll Z_{2n}$ , напряжение  $U_{2r}$  вообще будет равно нулю. Ток же обратной последовательности, как видно из диаграммы рис. 2, в, по всей линии одинаков и меньше подвержен изменениям.

Коэффициенты асимметрии по напряжению  $\varepsilon_n$  и току  $\varepsilon_r$  двигателя будут равны:

$$\varepsilon_n = \frac{U_{2n}}{U_{1n}}; \quad \varepsilon_r = \frac{I_{2r}}{I_{1n}}, \quad (3)$$

где  $U_{1n}$  и  $I_{1n}$  — действующие значения напряжения и тока прямой последовательности двигателя;

$U_{2n}$  и  $I_{2r}$  — действующие значения напряжения и тока обратной последовательности двигателя.

Зависимости этих коэффициентов от скольжения и мощности двигателя имеют характер кривых рис. 3. Из них видно, что величина  $\varepsilon_n$  сильно

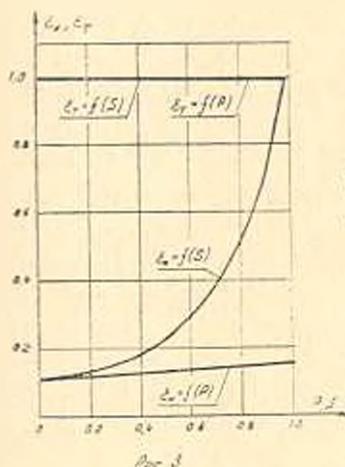


Рис. 3. Зависимости коэффициентов асимметрии  $\varepsilon_n$  и  $\varepsilon_r$  от скольжения и мощности двигателя

зависит как от скольжения, так и от отдаваемой мощности двигателя и колеблется в больших пределах. Величина же  $\varepsilon_r$  не зависит от этих

факторов и всегда равна единице. Поэтому защита с применением фильтра напряжения будет нести себя совершенно неопределенно: может ложно отключить неповрежденный двигатель  $A_1$ , как и случае двухфазного короткого замыкания, разобранном выше, или же отказать в действии при обрыве фазы, если он произошел между местом установки защиты и двигателем. И, наоборот, защиту с использованием фильтров тока легко можно отстроить от коротких замыканий вне зоны действия и эксплуатационных асимметрий сети, а постоянство  $\varepsilon_1$ , независимо от скольжения и нагрузки, обеспечит ее надежное действие при обрывах фазы и других режимах, сопровождающихся малыми токами повреждения.

Использование фильтров тока дает возможность выполнять защиту с зависимой амперсекундной характеристикой, способствующей созданию селективности. Например, на рис. 4, а приведена зависимость

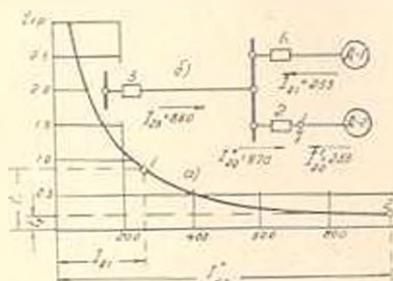


Рис. 4. Обеспечение селективности фильтровой токовой защиты: а — амперсекундная характеристика защиты; б — схема сети

времени срабатывания ( $t_{21}$ ) реле от величины тока обратной последовательности аппарата типа АЗЭД [1]. Такая характеристика позволяет практически мгновенно отключать двигатель при повреждениях, сопровождающихся опасными для него токами, и, наоборот, не допускает ложных отключений двигателя при внешних коротких замыканиях. Указанное рассмотрим на примере схемы рис. 4, б. Здесь нагрузка состоит из двух идентичных двигателей  $A_1$  и  $A_2$ , защищаемых фильтровой токовой защитой. Допустим, данные сети и нагрузки таковы, что при двухфазном коротком замыкании в ветви двигателя  $A_2$  токи обратной последовательности соответствующих ветвей равны [1]:  $I_{21} = 253$  а,  $I_{22} = 253$  а,  $I_{11} = 970$  а,  $I_{12} = 860$  а. Из рис. 4, а нетрудно заметить, что поврежденный двигатель  $A_2$  отключится с выдержкой времени  $t_2 = 0,2$  сек, а двигатель  $A_1$  не успеет отключиться, т. к. выдержка времени его защиты составит  $t_1 = 0,8$  сек. Таким образом, будет обеспечена селективность действия защиты.

Большим преимуществом фильтровых защит тока является также нетребовательность их к тщательной настройке, т. к. вследствие резкого и скачкообразного изменения  $I_2$  в нормальном и аварийном режимах всегда обеспечивается надежное срабатывание схемы фильтр-реле.

Рассмотрим, какова чувствительность фильтровых токовых защит по сравнению с защитами, использующими полные токи (простые максимальные защиты). При прочих равных условиях (мощность защищаемой электроустановки, схема коммутации сети и т. д.) чувствительность фильтровых защит зависит от следующих факторов [1]: вида имперсекундной характеристики исполнительного органа (мгновенного действия, зависимая характеристика, ограниченно-зависимая с отсечкой), типа примененного фильтра (простой, двойной, комбинированный), способа питания исполнительного органа.

Если предположить, что обе защиты выполнены мгновенного действия, то коэффициент чувствительности защиты, использующей простой фильтр, будет:

$$K_{ч(ф)} = \frac{I_{2(ф)}}{K_n I_{2(фн)}} \quad (4)$$

где  $K_{ч(ф)}$  — коэффициент чувствительности фильтровой защиты;

$I_{2(ф)}$  — минимальный ток обратной последовательности через защиту при двухфазном коротком замыкании в зоне действия ее (ток  $I_{2(ф)}$ , рис. 1, в);

$I_{2(фн)}$  — максимальный ток обратной последовательности при двухфазном коротком замыкании вне зоны действия защиты (ток  $I_{2(фн)}$ , рис. 1, в);

$K_n$  — коэффициент надежности уставки.

Учитывая, что минимальная величина тока  $I_{2(ф)}$  будет иметь место при отключенном двигателе  $\mathcal{D}_1$  и повреждении в конце линии, питающей защищаемый двигатель, получим:

$$I_{2(ф)} = \frac{I_{2(фн)}^{(3)}}{\sqrt{3}} = \frac{I_{2(фн)}^{(3)}}{2} = \frac{E}{2Z_0} \quad (5)$$

где  $I_{2(фн)}^{(3)}$  и  $I_{2(фн)}^{(2)}$  — полные токи при двух- и трехфазных коротких замыканиях в конце линии, питающей защищаемый двигатель;

$E$  — фазная э. д. с. сети;

$Z_0$  — сопротивление линии с учетом сопротивления сети.

Максимальная величина тока  $I_{2(фн)}$  будет иметь место при повреждении на шинах Ш и равна половине пускового тока защищаемого двигателя

$$I_{2(фн)} = \frac{E}{2(Z_0 + Z_д)} \quad (6)$$

где  $Z_д$  — пусковое комплексное сопротивление защищаемого двигателя.

На основании (5) и (6) взамен (4) получим:

$$K_{ч(ф)} = \frac{Z_0 + Z_д}{K_n Z_0} \quad (7)$$

Аналогично для максимальной защиты, использующей полные токи, получим:

$$K_{q(m)} = \frac{I_{\text{н}}}{K_{\text{н}} I_{\text{нн}}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{Z_{\text{н}}}{K_{\text{н}} Z_{\text{н}}}, \quad (8)$$

где  $I_{\text{н}}$  — номинальный пусковой ток двигателя.

Отношение коэффициентов чувствительности обеих защит будет:

$$C_{\text{н}} = \frac{K_{\text{н}(ф)}}{K_{\text{н}(м)}} = \frac{2}{\sqrt{3}} \left( 1 + \frac{Z_{\text{н}}}{Z_{\text{н}}} \right). \quad (9)$$

Если учесть, что для маломощных сильнонагруженных сетей отношение  $Z_{\text{н}}/Z_{\text{н}}$  равно  $0,5 - 0,6$ , а для общепромышленных мощных сетей стремится к нулю, то из последнего уравнения получим граничные значения:  $1,15 < C_{\text{н}} < 1,8$ .

**Выводы.** В маломощных сильнонагруженных сетях с малыми кратностями токов короткого замыкания (горные, сельскохозяйственные, лесотехнические и др.) необходимо применять защиты, работающие на фильтровом принципе. При осуществлении фильтровых защит от токов коротких замыканий и ненормальных режимов предпочтение следует давать фильтрам тока. Чувствительность фильтровых защит по сравнению с простыми максимальными защитами выше в  $1,15 - 1,8$  раз.

Ереванский политехнический институт  
им. К. Маркса

Поступило 16.III.1970.

Գ. Գ. ԳԻՄՈՅԱՆ, Շ. Ա. ԱՐՅԱՆ:

ՀՈՍԱՆՔԻ ԵՎ ԼԱՐՄԱՆ ՀԱՆՏԱՐԱՐԳ ՀԱՋՈՐԴԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԻՆՏՐԵՆՏԻ  
ՀԱՄԵՄԱՏԱԿԱՆ ԱՆԱՐԳ ՄԱՔՍԻՄԱԼ ՊԱՇՏՊԱՆՈՒԹՅԱՆ ՍԽԵՄԱՆԵՐՈՒՄ

Ա մ փ ո փ ո ի մ

Կատարված է հոսանքների և լարումների հսկադարձ հաշորդականության սկզբունքի վրա կառուցված կարճ միացումներից և աննորմալ սեծիմներից ֆիլտրային պաշտպանությունների համեմատում: Ապացուցվում է, որ հոսանքի ֆիլտրերի օգտագործումը ունի անփոփոխի առավելություն համեմատած լարման ֆիլտրերի հետ: Հոսանքային ֆիլտրային պաշտպանությունները հեշտ է կարգավորել պաշտպանության գոտուց դուրս կարճ միացումներից և հեշտ է սպասափել նրա հոսույի զործողությունը գոտու ներսում վնասվածքների զեպրում: Ցույց է տրվում, որ հոսանքային ֆիլտրային պաշտպանությունների զգայնությունը պարզ մաքսիմալ հոսանքային պաշտպանությունների զգայնության համեմատությամբ բարձր է  $1,15 - 1,8$  անգամ:

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Гимоян Г. Г., Аюбов Р. М. Релейная защита подземного горного электрооборудования и сетей. Изд. «Недра», М., 1970.