

Авторы:
Вишневская Е.В.,
Журавлев Д.П.,
 ООО НПП «ЭКРА»,
 г. Чебоксары, Россия.

УДК 621.311.4

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕЗЕРВНОЙ ЗАЩИТЫ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

IMPROVING BACKUP PROTECTION FOR AUXILIARY CABLE LINES IN A POWER STATION

Аннотация: в статье выполнен анализ режимов функционирования групповой резервной защиты кабельных линий. Подробно рассмотрен режим самозапуска асинхронных двигателей. Минимальное расчетное сопротивление в режиме самозапуска получается при номинальной мощности ТСН, равной 63 МВА. С учетом результатов анализа для реле сопротивления предложена полигональная характеристика особого вида, позволяющая обеспечить защитоспособность при длине кабельных линий до 1800 м.

Ключевые слова: групповая резервная защита, самозапуск асинхронных двигателей, характеристика реле сопротивления.

Abstract:
 This article gives an analysis of operating modes of group backup protection for cable lines. We present a detailed insight into the self-starting mode of asynchronous engine. Minimum design resistance in the self-starting mode is obtained at nominal auxiliaries transformer power of 63 MVA. Taking into account the results, for impedance relay we suggested a special polygon feature which allows providing protection for cable lines with the length of up to 1800 m.

Keywords:
 multiple backup protection, self-starting of asynchronous engine, impedance relay feature.

Введение

Системы электроснабжения собственных нужд (СН) должны проектироваться таким образом, чтобы обеспечить достаточно высокий уровень надежности работы тепловой электростанции. Довольно частым видом повреждения является двухфазное короткое замыкание (КЗ) в кабельной муфте, которое может в течение 0,1-0,15 с перейти в трехфазное КЗ [1]. При отказе основных защит линии может произойти пожар в системе СН. В связи с этим актуальна разработка и применение групповой резервной защиты (ГРЗ), имеющей достаточную чувствительность как при двухфазных, так и при трехфазных КЗ в конце кабельных линий или в коробках выводов двигателей.

Анализ режимов функционирования резервной защиты кабельных линий

Наиболее распространенной является схема питания секций шин через рабочий трансформатор ТСН с расщепленной обмоткой НН (рис. 1).

Необходимо также учитывать, что при использовании ТСН мощностью 25-63 МВА с расщепленной обмоткой НН нагрузка на секции шин может достигать 1,2 номинальной мощности полуобмотки ТСН (за счет перераспределения питания электродвигателей парных механизмов) [1].

ГРЗ может быть выполнена по функциональной схеме, содержащей пусковой орган

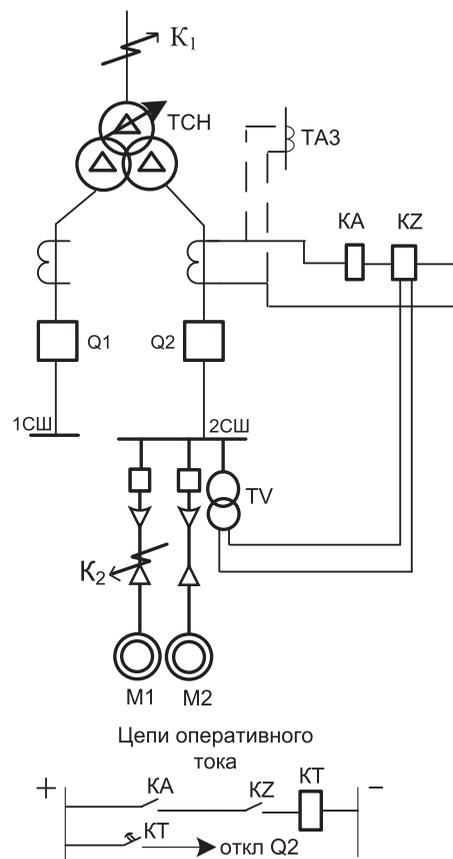


Рис. 1. Функциональная схема групповой резервной защиты кабельных линий



тока КА, реле сопротивления КЗ и орган направления мощности (на рис. 1 не показан). Реле сопротивления КЗ содержит три органа сопротивления, включенных на вторичные междуфазные токи и напряжения. Органы сопротивления на комплексной плоскости имеют характеристики в виде окружности с центром в начале координат.

Приближенный анализ токов самозапуска, проведенный в [1], показал, что при мощности ТСН равной 63 МВА зона резервирования составляет 860 м для кабелей с сечением жил 240 мм² и 520 м для кабелей с сечением жил 150 мм². Также известно, что в сети СН крупных энергоблоков электроприемники могут быть удалены от секции шин на расстояние до 1500-1800 м. В связи с этим в настоящее время часто используется специальная структурная схема резервной защиты [2], которая обеспечивает достаточную чувствительность и в таких случаях. Основным недостатком схемы [2] является довольно сложная логика, а также то, что защита блокируется на время самозапуска, которое может достигать 10-20 с.

Рассмотрим более подробно режим самозапуска. Примем базовую мощность ТСН 25 МВА. В качестве обобщенной нагрузки секции шин примем три АД типа 4АЗМ – 4000/6000. Такие двигатели имеют номинальную полную мощность 4620 кВА,

что обеспечивает расчетный (по режиму самозапуска) коэффициент загрузки секции

$$k_3 = \frac{3 \cdot 4620}{12500} = 1,11.$$

Асинхронные двигатели при номинальной мощности 500 кВт и более являются глубокопазными, что обеспечивает кратность пускового момента 0,9-1,0 и кратность пускового тока 4,5-6 [3]. Для глубокопазных двигателей приемлемая точность расчетов получается при использовании двухконтурной схемы замещения (рис. 2).

Для такой схемы замещения комплексное сопротивление АД можно вычислить по формуле

$$Z = r_1 + jx_1 + \left(\frac{1}{jx_\mu} + \frac{1}{jx_{21} + \frac{r_{21}}{s}} + \frac{1}{jx_{22} + \frac{r_{22}}{s}} \right)^{-1}. \quad (1)$$

Параметры схемы замещения АД мощностью 4000 кВт в относительных единицах приведены в [4]: $r_1 = 0,0052$; $x_1 = 0,078$; $x_\mu = 2,78$; $r_{21} = 0,0072$; $x_{21} = 0,14$; $r_{22} = 0,062$; $x_{22} = 0,097$.

Номинальное (базисное) сопротивление АД вычисляется по формуле

$$z_{ном} = \frac{U_{ном}^2}{S_{ном}}. \quad (2)$$

По формуле (2) получаем

$$z_{ном} = \frac{(6 \cdot 10^3)^2}{4620 \cdot 10^3} = 7,8 \text{ Ом}.$$

В момент подачи напряжения на секцию шин возникают как сверхпереходный, так и переходный токи. Сверхпереходный ток затухает за один-два периода. Переходный ток затухает за время примерно 0,1-0,15 с. Поскольку выдержка времени ГРЗ принимается в пределах 0,4-0,5 с, то рассматривается только электрохимический переходный процесс, обусловленный изменением скольжения s . Перерыв питания секции шин не превышает 1 с, поэтому можно полагать, что максимальное (расчетное) значение скольжения равно 0,1.

При этом по формуле (1) получены следующие значения: $z_\varphi = 0,19$; $\varphi = 65^\circ$; $\tan \varphi = 2,15$. Для группы из трех двигателей при $s = 0,1$ имеем: $r_{\text{ЭК}} = 0,21$ Ом; $x_{\text{ЭК}} = 0,44$ Ом; $z_{\text{ЭК}} = 0,49$ Ом. Как показали расчеты, полученные значения сопротивления на 8% больше, чем имеют место быть в режиме пуска.

С увеличением номинальной мощности ТСН растет суммарная мощность подключенных к секции шин АД, а сопротивления $r_{\text{ЭК}}$ и $x_{\text{ЭК}}$ уменьшаются примерно обратно пропорционально $S_{ном}$:

$r_{\text{ЭК}} = 0,13$ Ом; $x_{\text{ЭК}} = 0,275$ Ом; $z_{\text{ЭК}} = 0,304$ Ом при $S_{ном} = 40$ МВА;
 $r_{\text{ЭК}} = 0,083$ Ом; $x_{\text{ЭК}} = 0,175$ Ом; $z_{\text{ЭК}} = 0,193$ Ом при $S_{ном} = 63$ МВА.

Таким образом, минимальные расчетные сопротивления в режиме самозапуска получаются при номинальной мощности ТСН равной 63 МВА. Такие ТСН применяются на электрических станциях с энергоблоками мощностью 800 МВт и более.

Разработка мероприятий по обеспечению повышенной чувствительности ГРЗ

Удельное реактивное сопротивление кабелей с бумажной изоляцией напряжением 6 кВ при изменении сечения жил от 120 до 240 мм² изменяется незначительно (от 0,076 до 0,071 Ом/км) [5]. Удельное активное сопротивление, как из-

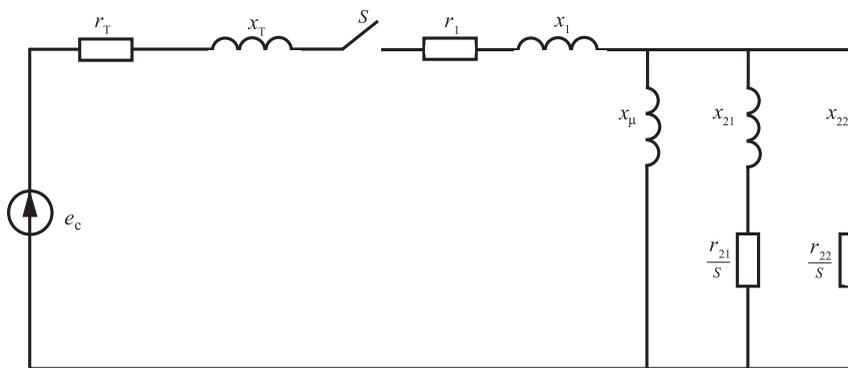


Рис. 2. Схема замещения питающего трансформатора и мощного глубокопазного АД



**Вишневская
Екатерина Викторовна**

Дата рождения: 21.09.1990 г.
В 2012 году окончила Чувашский государственный университет специальности «Электроснабжение промышленных предприятий». Инженер ООО НПП «ЭКРА».



**Журавлев
Дмитрий Павлович**

Дата рождения: 19.03.1988 г.
В 2011 году окончил Чувашский государственный университет специальности «Электроснабжение промышленных предприятий». Аспирант кафедры «ЭСПП» Чувашского государственного университета. Инженер ООО НПП «ЭКРА».

вестно, обратно пропорционально площади сечения жилы. С учетом этого целесообразно использовать полигональную характеристику реле КЗ (того или иного вида).

В [6] рассматриваются различные виды характеристик реле сопротивления КЗ, причем для защиты кабельных линий (видимо, напряжением 35 кВ и более) рекомендовано направленное реле сопротивления с характеристикой, состоящей из двух дуг окружности и двух прямых линий. Очевидно, что применение такой характеристики создаст излишние трудности при расчете уставок рассматриваемой в настоящей статье ГРЗ.

Более подходящим для решения поставленной задачи могло бы быть использование полигональной характеристики с горизонтальной верхней граничной линией и охватом оси jx [6, 7]. Однако при этом в зону срабатывания могло бы попадать комплексное сопротивление $Z_{с.з.1}$, измеряемое в режиме самозапуска.

С учетом этого предлагается использовать реле КЗ с полигональной характеристикой, показанной на рис. 3.

Поскольку с уменьшением сечения жил кабельной линии удельное реактивное сопротивление кабельной линии возрастает, то верхняя граничная линия характеристики имеет наклон под углом, тангенс которого равен 0,15.

Для полигональной характеристики целесообразно задавать отдельно уставки по реактивному $x_{ср}$ и активному $r_{ср}$ сопротивлениям срабатывания.

Уставку по реактивному сопротивлению можно вычислить по формуле, аналогичной приведенной в [1]

$$x_{ср} = K_{отс} \frac{x_{сз}}{K_6}, \quad (3)$$

где $K_{отс} = 0,85$ – коэффициент отстройки;
 $K_6 = 1,1$ – коэффициент возврата.

По формуле (3) для режима с $S_{ном} = 63$ МВА получаем

$$x_{ср} = 0,85 \cdot \frac{0,175}{1,1} = 0,135 \text{ Ом.}$$

Максимальное реактивное сопротивление защищаемой линии при этом равно

$$x_{л} = \frac{x_{ср}}{K_4} = \frac{0,135}{1,2} = 0,113.$$

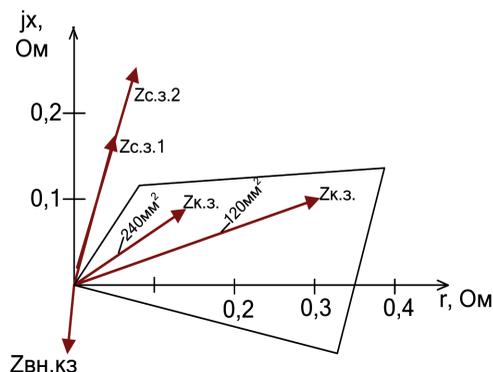


Рис. 3. Полигональная характеристика реле сопротивления КЗ

Здесь $K_4 = 1,2$ – коэффициент чувствительности. Максимальная длина защищаемой кабельной линии с сечением жил 240 мм² при этом равна

$$l_{max} = \frac{x_{л}}{x_{уд}} = \frac{0,113}{0,071} = 1,59 \text{ км.}$$

Это превышает заданную длину 1500 м.

Согласно [5] тангенс угла сопротивлений кабельной линии с сечением медных жил 240 мм² равен

$$\tan \varphi = \frac{0,071}{0,077} = 0,92.$$

Поскольку $\tan \varphi$ в режиме самозапуска при $S_{ном} = 63$ МВА не менее 2,1, то левую граничную линию полигональной характеристики целесообразно провести под углом, тангенс которого 1,5. При этом будет обеспечена отстройка от режима самозапуска с коэффициентом $K_{отс} = 0,71$. Координаты правой граничной линии найдем исходя из следующих условий: задаемся минимальным сечением жил кабельной линии 120 мм². При этом $r_{уд} = 0,153$ Ом/км. При длине 1800 м получаем $r_{л} = 0,153 \cdot 1,8 = 0,275$ Ом.

По данной методике можно было бы учесть и сопротивление электрической дуги в месте КЗ, но при длине дуги порядка 0,1 м и токе КЗ порядка 5-10 кА оно получается значительно меньше 0,275 Ом и, следовательно, им можно пренебречь. Координату точки пересечения граничной линии с осью r находим по формуле



$$r_{zp} = k_c \cdot r_l = 1,2 \cdot 0,275 = 0,33 \text{ Ом.}$$

Округляем полученное значение до 0,35 Ом. Координату точки пересечения правой граничной линии и верхней линии принимаем равной 0,4 Ом. При этом комплексное сопротивление кабельной линии с сечением жил 120 мм² и длиной 1800 м с достаточным запасом находится внутри предложенной полигональной характеристики.

Реализация характеристики, показанной на рис. 3, была выполнена в терминале цифровых защит вводов ООО НПП «ЭКРА». Для надежного срабатывания реле КЗ при КЗ в начале защищаемой зоны используется запоминание напряжения предшествовавшего режима. Запоминание осуществляется на время, с запасом превышающее выдержку времени ГРЗ, которая принимается равной 0,4-0,5 с. Результаты испытаний, проведенных на моделирующей установке, показали правильное функционирование ГРЗ во всех заданных режимах.

Для повышения надежности функционирования ГРЗ при КЗ в начале защищаемой зоны можно дополнительно ввести круговую направленную характеристику (первую ступень защиты) с углом максимальной чувствительности, тангенс которого равен 1,5. Уставку срабатывания целесообразно принимать равной 0,5зс.з.1.

Выводы

1. Проведенный анализ показал, что имеются значительные различия комплексных сопротивлений как по модулю, так и по углу, измеряемых в режиме самозапуска АД и при междуфазном КЗ в конце кабельной линии длиной 1500-1800 м.

2. Использование цифрового реле сопротивления с полигональной характеристикой, представленной на рисунке 3, позволяет обеспечить достаточную защитоспособность групповой резервной защиты кабельных линий собственных нужд тепловых электростанций при мощности ТСН до 63 МВА включительно.

Литература

1. Собственные нужды тепловых электростанций. / Аббасова Э.М., Голоднов Ю.М., Зильберман В.А., Мурзаков А.Г.; Под ред. Голоднова Ю.М. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 272 с.
2. Зильберман В.А. О селективности и чувствительности релейной защиты питающих вводов собственных нужд блочных электростанций // Электрические станции. 1987. – №4. – с. 61-64.
3. Вольдек А.И., Попов В.В. Электрические машины. Машины переменного тока. – СПб.: Питер, 2008. – 350 с.
4. Сивокобыленко В.Ф., Павлюков В.А. Метод эквивалентирования и расчета короткого замыкания в системе асинхронных машин. – Электричество, 1979, №1, с. 45-49.
5. Справочник по проектированию электроэнергетических систем/Ершевич В.В., Зейлигер А.М., Илларионов Г.А. и др. – М.: Энергоатомиздат, 1985 – 352 с.
6. Шнеерсон Э.М. Цифровая релейная защита. – М.: Энергоатомиздат, 2007. – 549 с.
7. Циглер Г. Цифровая дистанционная защита. Принципы и применение. Перевод с англ. – М.: Энергоатомиздат, 2005. – 321 с.