

УДК 621.316.925

## НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТОКОВЫХ ЗАЩИТ ЛИНИЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Чл.-кор. НАН Беларуси, докт. техн. наук, проф. РОМАНИЮК Ф. А.,  
магистр техн. наук ШЕВАЛДИН М. А.

*Белорусский национальный технический университет*

E-mail: faromanuk@bntu.by

Токовые защиты линий распределительных сетей 6–35 кВ используются для их защиты от междуфазных коротких замыканий. Главный недостаток состоит в относительно больших выдержках времени последних ступеней, особенно на головных участках сети, вследствие ступенчатых характеристик срабатывания, а также значительного количества ступеней. Полноценная защита линий 6–35 кВ от междуфазных коротких замыканий может быть обеспечена двухступенчатой токовой защитой, у которой первая ступень – токовая отсечка без выдержки времени, а вторая – максимальная токовая защита с выдержкой времени, линейно зависящей от расстояния от места установки защиты до точки повреждения. В статье представлены формулы расчета характеристик выдержек времени второй ступени и их примерный графический вид. Авторами предложен вариант решения проблемы с расчетом выдержек времени второй ступени защиты в тех случаях, когда от шин подстанции, расположенной в конце защищаемой линии, отходят несколько присоединений.

Совершенствование токовых защит линий 6–35 кВ с односторонним питанием от междуфазных коротких замыканий может быть основано на использовании в совокупности таких принципов, как: учет места и вида коротких замыканий, что обеспечивает расширение зоны мгновенного отключения быстродействующей ступени и ее независимость от вида повреждения и режима работы сети, а также позволяет увеличить чувствительность последней ступени к несимметричным коротким замыканиям; определение места коротких замыканий по результатам измерения только токов повреждения, что упрощает выполнение защиты; выполнение последней ступени защиты с линейно зависимой выдержкой времени, что обеспечивает возможность повышения ее быстродействия.

**Ключевые слова:** энергетика, линии распределительных сетей, релейная защита.

Ил. 2. Библиогр.: 10 назв.

## CONCEPTS OF IMPROVING CURRENT PROTECTION OF POWER-GRID LINES

ROMANIUK F. A., SHEVALDIN M. A.

*Belarusian National Technical University*

The 6–35 kV power-grid current protection serves to protect the transmission lines against phase-to-phase short-circuits. The major disadvantage of it lies in the relatively large

time delays of the last stages especially in the main sections of the grid owing to the stepped relay characteristics as well as a large number of the steps. A full-fledged protection of the 6–35 kV lines against inter-phase short circuits can be provided by the two-stage current protection: the first stage being the current cutoff without any time delay and the second stage – the maximum current protection where the time delay is linear contingent on the distance between the protection placement and the fault-point location. The article introduces the rating formulae for the time delays of the second-stage and their exemplary graphic presentation. The authors offer a variant for solving the problem with computation of the second-stage time delays in those instances where several feeders diverge from the bus bars of the substation located in the end of the protected line.

Improving current protections for the 6–35 kV transmission lines with one-end power supply against interphase short-circuits can be based on the collective application of the following principles: accounting for the type and location of the short-circuit which provides for the high-performance cutoff zone instantaneous expansion and its independence on the mode of failure and the grid operation mode. It also allows increase of the last stage sensitiveness towards asymmetrical short-circuits; detection of the short-circuit location only on the results of fault currents measurement which simplifies the protection implementation; realization of the last (second) protection stage with linear-dependent time delay which ensures potentiality of its operation speed increase.

**Keywords:** power engineering, power-grid lines, relay protection.

Fig. 2. Ref.: 10 titles.

Токовые защиты линий распределительных сетей 6–35 кВ используются для их защиты от междуфазных коротких замыканий (КЗ). Главный недостаток состоит в относительно больших выдержках времени последних ступеней, особенно на головных участках сети, вследствие ступенчатых характеристик срабатывания, а также значительного количества ступеней [1–4].

Одним из направлений совершенствования токовых защит является использование информации о месте повреждения, которая может быть получена путем анализа величины относительного значения расстояния от места установки защиты до точки повреждения  $l_{k^*}$ . Для определения  $l_{k^*}$  при известном токе повреждения  $I_k$  можно воспользоваться выражением [5]

$$l_{k^*} = \frac{(kI_{k(н)}^{(3)} - I_k)I_{k(к)}^{(3)}}{(I_{k(н)}^{(3)} - I_{k(к)}^{(3)})I_k}, \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент, зависящий от вида повреждения; при трехфазных КЗ  $k = 1,0$ , а при двухфазных  $k = 0,5\sqrt{3}$ ;  $I_{k(н)}^{(3)}$ ,  $I_{k(к)}^{(3)}$  – токи КЗ при трехфазных повреждениях соответственно в начале и конце линии;  $I_k$  – среднее значение из трех или двух токов фаз для соответствующего вида КЗ.

Алгоритм определения места повреждения реализуется на временном интервале существования КЗ. При этом фиксируются токи фаз линии, из которых выделяются наибольшее и наименьшее значения с последующим установлением по ним вида КЗ [6–10]. Затем в соответствии с видом КЗ выбираются необходимые значения коэффициента и определяется величина тока  $I_k$ . После этого с использованием (1) вычисляется  $l_{k^*}$ . Если  $l_{k^*} \leq 1$ , то КЗ находится на защищаемой линии и ее можно отключать без выдержки времени. Когда  $l_{k^*} > 1$ , то местом КЗ является смежная линия и отключение ее защитой должно производиться с выдержкой времени.

Учитывая, что оперативное определение места повреждения в реальном времени будет осуществляться по вторичному значению тока  $I_k$ , а также принимая во внимание другие обстоятельства, будем считать, что на достоверность определения  $l_{k*}$  наиболее существенное влияние оказывают следующие факторы:

- вид КЗ;
- переходное сопротивление в месте повреждения;
- погрешности трансформаторов тока;
- нагрузка линии;
- мощность и сопротивление питающей системы;
- погрешности расчета токов КЗ в начале и конце линии.

В [5] приведены результаты исследований методом вычислительного эксперимента погрешностей определения  $l_{k*}$  для различных режимов работы линий 6–35 кВ и видов КЗ в соответствующих точках, а также при учете изменения отмеченных выше влияющих факторов в пределах реально возможных значений. Оценивая результаты выполненных исследований, можно сделать вывод, что контролируя в режиме КЗ только один параметр, а именно протекающий по линии ток КЗ, вполне возможно определить место повреждения с погрешностью, абсолютное значение которой не превышает 15 %.

Области возможных расчетных значений относительных расстояний  $l_{k*}$  при КЗ в различных точках сети, определяемых  $I_{k*}$ , с учетом воздействия влияющих факторов для наихудших случаев показаны на рис. 1.

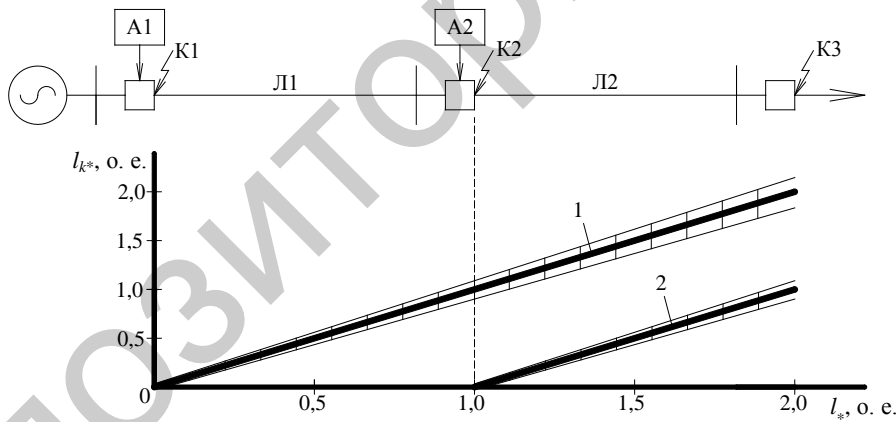


Рис. 1. Области возможных расчетных значений  $l_{k*}$  с учетом воздействия влияющих факторов

Для определения относительного значения расстояний от места установки защиты A1 до точки повреждения на линии Л1  $l_{1k*}$  использовали выражение (1), в котором вместо  $I_{k(н)}^{(3)}$  и  $I_{k(к)}^{(3)}$  фигурировали токи трехфазных КЗ соответственно в точках К1 и К2. Если полученное значение  $l_{1k*} \leq 1$ , то принимали  $l_{k*} = l_{1k*}$ , в противном случае вычисляли относительное значение расстояния от места установки защиты A2 до места повреждения на линии Л2  $l_{2k*}$  по току КЗ, протекающему через защиту A1.

Это осуществляли на основе выражения (1) при использовании вместо  $I_{k(n)}^{(3)}$  и  $I_{k(k)}^{(3)}$  значений токов трехфазных КЗ соответственно в точках К2 и К3. В этом случае  $l_{1k^*}$  определяли как  $l_{k^*} = 1 + l_{2k^*}$ .

Следует отметить, что защитой А1 линии Л1 могут быть зафиксированы точки повреждений как на Л1, так и на Л2, которые с учетом погрешностей образуют область 1 (рис. 1). Защитой А2 линии Л2 могут быть установлены места КЗ как на Л2, так и на смежной линии, которые с учетом влияющих факторов будут располагаться в области 2 (рис. 1).

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что расчетное относительное расстояние  $l_{k^*}$  вполне приемлемо отражает местоположение точки КЗ как на защищаемой, так и на смежной линии. Весьма важно, что влияющие факторы не порождают таких погрешностей определения  $l_{k^*}$ , которые приводили бы к наложению областей 1 и 2. Благодаря этому представляется возможным выполнение селективной токовой защиты, у которой время срабатывания линейно зависит от  $l_{k^*}$ .

Полноценная защита линий 6–35 кВ от междуфазных КЗ может быть обеспечена двухступенчатой токовой защитой, у которой первая ступень – токовая отсечка без выдержки времени, а вторая – максимальная токовая защита с выдержкой времени, линейно зависящей от расстояния до точки повреждения. Характеристики выдержек времени такой защиты представлены на рис. 2.

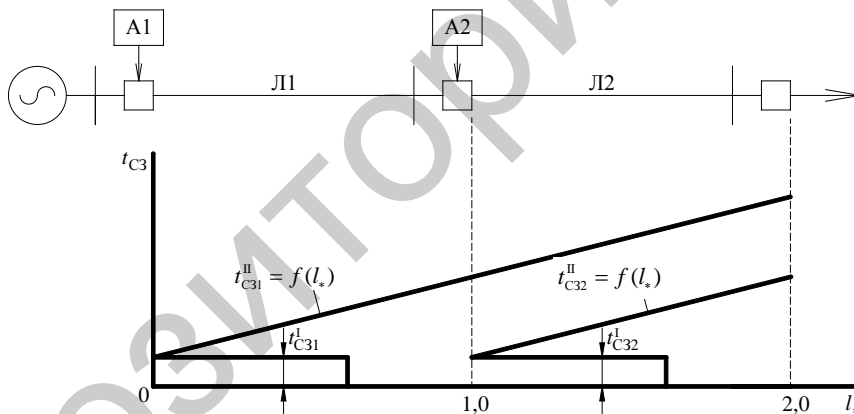


Рис. 2. Характеристики выдержек времени ступеней защиты:

$t_{C31}^I$  – время срабатывания первой ступени соответствующей защиты;

$t_{C31}^{II} = f(l_*)$  – время срабатывания второй ступени соответствующей защиты

Выдержка времени второй ступени защиты А1 при повреждениях на линии Л1 определяется как

$$t_{C31}^{II} = t_{C31}^I + l_{1k^*} \Delta t, \quad (2)$$

где  $\Delta t$  – ступень выдержки времени.

При КЗ на линии Л2  $t_{C31}^{II}$  вычисляется по выражению

$$t_{C31}^{II} = t_{C31}^I + \Delta t + l_{2k^*} \Delta t. \quad (3)$$

Если от шин на подстанции в конце линии Л1 отходит несколько присоединений, то при определении выдержки времени второй ступени защиты А1 в (3) в качестве  $l_{2k} \cdot \Delta t$  используется наименьшее положительное значение аналогичной величины из рассчитанных для всех присоединений. Реализация этого подхода обеспечит сокращение числа ступеней токовой защиты линии до двух и повышение быстродействия последней ступени, включая головные участки сети, расположенные вблизи источников питания.

Совершенствование токовых защит линий с односторонним питанием от междуфазных КЗ может быть основано на использовании в совокупности таких принципов, как:

- учет места и вида КЗ, что обеспечивает расширение зоны мгновенного отключения быстродействующей ступени и ее независимость от вида повреждения и режима работы сети, а также позволяет увеличить чувствительность последней ступени к несимметричным КЗ;
- определение места КЗ по результатам измерения только токов повреждения, что упрощает выполнение защиты;
- выполнение последней ступени защиты с линейно зависимой выдержкой времени, что обеспечивает возможность повышения ее быстродействия.

#### ВЫВОД

Реализация предложенных направлений совершенствования токовой защиты линий от междуфазных коротких замыканий в совокупности позволит сократить число ступеней до двух, расширить зону мгновенного отключения быстродействующей ступени и обеспечить ее независимость от вида повреждения и режима работы сети, а также повысить быстродействие и чувствительность последней ступени защиты.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Федосеев, А. М. Релейная защита электроэнергетических систем. Релейная защита сетей: учеб. пособие для вузов / А. М. Федосеев. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 520 с.
2. Чернобровов, Н. В. Релейная защита энергетических систем / Н. В. Чернобровов, В. А. Семенов. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 798 с.
3. Шабад, М. А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей / М. А. Шабад. – 4-е изд., перераб. и доп. – СПб.: ПЭИПК, 2003. – 350 с.
4. Шнеерсон, Э. М. Цифровая релейная защита / Э. М. Шнеерсон. – М.: Энергоатомиздат, 2007. – 549 с.
5. Романюк, Ф. А. Определение места повреждения на линиях напряжением 6–35 кВ с односторонним питанием / Ф. А. Романюк, М. А. Шевалдин // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2014. – № 5. – С. 5–14.
6. Ковалевский, А. В. Выбор численного значения критерия для определения вида короткого замыкания в адаптивной микропроцессорной токовой защите линий / А. В. Ковалевский // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2007. – № 6. – С. 5–13.
7. Романюк, Ф. А. Определение вида повреждения на линиях распределительных сетей в объеме функций микропроцессорных токовых защит / Ф. А. Романюк, А. А. Тищенко, Е. В. Булойчик // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2011. – № 4. – С. 5–10.

8. Р о м а н ю к, Ф. А. Информационное обеспечение микропроцессорных защит электроустановок: учеб. пособие / Ф. А. Романюк. – Минск: Технопринт, 2001. – 133 с.

9. О в ы б о р е характеристик срабатывания токовых защит линий в распределительных сетях с односторонним питанием / Ф. А. Романюк [и др.] // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2008. – № 6. – С. 5–10.

10. Р о м а н ю к, Ф. А. Определение места короткого замыкания на линиях распределительных сетей в объеме функций микропроцессорных токовых защит / Ф. А. Романюк, А. А. Тишечкин, О. А. Гурьянчик // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2010. – № 6. – С. 5–13.

#### REFERENCES

1. F e d o s e e v, A. M. (1984) *Relay Protection of Electric Energy Systems. Relay Protection of Electric Power Networks: Educational Aids for Students*. Moscow, Energoatomizdat. 520 p. (in Russian).

2. C h e r n o b r o v o v, N. V., & Semenov, V. A. (1998) *Relay Protection of Electric Energy Systems*. Moscow, Energoatomizdat. 798 p. (in Russian).

3. S h a b a d, M. A. (2003) *The Calculations of the Parameters of Relay Protection and Automation in the Distribution Networks*. 4<sup>th</sup> ed. St. Petersburg, PEIPK. 350 p. (in Russian).

4. S h n e e r s o n, E. M. (2007) *Digital Relay Protection*. Moscow, Energoatomizdat. 549 p. (in Russian).

5. R o m a n i u k, F. A., & Shevaldin, M. A. (2014) Detection of Fault Location on the Power Lines 6–35 kV with Unilateral Feed. *Izvestiia Vysshikh Uchebnykh Zavedenii i Energeticheskikh Ob'edinenii – Energetika* [Proceedings of Higher Education Institutions and Power Engineering Associations – Power Engineering], 5, 5–14 (in Russian).

6. K o v a l e v s k i j, A. V. (2007) Choice of the Numerical Values Criteria for the Determination of the Type of Short Circuit in Adaptive Microprocessor Current Relay Protections. *Izvestiia Vysshikh Uchebnykh Zavedenii i Energeticheskikh Ob'edinenii – Energetika* [Proceedings of Higher Education Institutions and Power Engineering Associations – Power Engineering], 6, 5–13 (in Russian).

7. R o m a n i u k, F. A., Tishechkin, A. A., & Bulojchik, E. V. (2011) Determination of the Type of Fault on the Lines of Distribution Networks in the Range of Functions of Microprocessor Current Relay Protections. *Izvestiia Vysshikh Uchebnykh Zavedenii i Energeticheskikh Ob'edinenii – Energetika* [Proceedings of Higher Education Institutions and Power Engineering Associations – Power Engineering], 4, 5–10 (in Russian).

8. R o m a n i u k, F. A. (2001) *Information Support of the Microprocessor Relay Protections of the Electrical Installations*. Minsk, Tehnoprинт. 133 p. (in Russian).

9. R o m a n i u k, F. A., Tishechkin, A. A., Rumiantsev, V. Iu., Novash, V. I., Bobko, N. N., & Glinskii, E. V. (2008) About Choice of Pick-Up Characteristics of the Current Relay Protections in the Distribution Networks with Unilateral Feed. *Izvestiia Vysshikh Uchebnykh Zavedenii i Energeticheskikh Ob'edinenii – Energetika* [Proceedings of Higher Education Institutions and Power Engineering Associations – Power Engineering], 6, 5–10 (in Russian).

10. R o m a n i u k, F. A., Tishechkin, A. A., & Gurjanchik, O. A. (2010) Detection of Short-Circuit Point Location on the Lines of Distribution Networks in the Range of Functions of Microprocessor Current Relay Protections. *Izvestiia Vysshikh Uchebnykh Zavedenii i Energeticheskikh Ob'edinenii – Energetika* [Proceedings of Higher Education Institutions and Power Engineering Associations – Power Engineering], 6, 5–13 (in Russian).

Представлена кафедрой  
электрических станций

Поступила 11.12.2014