

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ РАСХОДА КОММУТАЦИОННОГО РЕСУРСА ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

РАЗРАБОТАНО Научно-исследовательским центром по испытанию высоковольтной аппаратуры (НИЦ ВВА)

ИСПОЛНИТЕЛЬ И.Л. Шлейфман

УТВЕРЖДЕНО Научно-исследовательским центром по испытанию высоковольтной аппаратуры 23.09.91 г.

Директор А.В. Малышев

Настоящие Методические указания позволяют унифицировать методы определения расхода коммутационного ресурса и допустимого количества отключений токов, после которого выключатель должен быть выведен в ремонт. Расход коммутационного ресурса и количество коммутаций до вывода выключателя в ремонт определяются по кривым зависимости допустимого количества отключений (включений) от тока, которые строятся на основании данных предприятий-изготовителей. В настоящих Методических указаниях рассматриваются вопросы определения расхода коммутационного ресурса и количества отключений при известных фактических значениях тока КЗ, а также прогнозирования количества отключений и включений тока КЗ при известных расчетных значениях тока КЗ в начале и в конце защищаемой выключателем линии.

1. ПОСТРОЕНИЕ КРИВЫХ ЗАВИСИМОСТИ ДОПУСТИМОГО КОЛИЧЕСТВА ОТКЛЮЧЕНИЙ (ВКЛЮЧЕНИЙ) ОТ ТОКА

1.1. Основной характеристикой коммутационного ресурса является количество отключений токов КЗ, так как для большинства выключателей именно при отключениях происходит основной износ элементов дугогасительного устройства. Для отдельных серий выключателей (ВВН, ВВ), у которых функции отключения и включения выполняются различными контактными системами, коммутационный ресурс определяется как количеством отключений, так и количеством включений.

1.2. Кривые зависимости допустимого количества отключений (включений) от тока строятся на основании данных предприятий-изготовителей, приводимых в инструкциях по эксплуатации. По соглашению с НИЦ ВВА могут использоваться также результаты специально проведенных исследований и материалы, опубликованные в технической литературе или приводимые в протоколах испытаний.

1.3. Данные по коммутационному ресурсу выключателей могут быть заданы в инструкциях по эксплуатации различными способами. Способ задания коммутационного ресурса определяет метод построения кривых зависимости допустимого количества отключений (включений) от тока.

1.3.1. Коммутационный ресурс задан непосредственно в виде кривых зависимости допустимого количества отключений от тока (например, для выключателей серии ВМТ в техническом описании и инструкции по эксплуатации ИБКЖ.674.43.001 ТО). Такие кривые зависимости могут непосредственно использоваться при определении расхода коммутационного ресурса изложенными ниже методами (см. разд. 2 и 3).

1.3.2. Коммутационный ресурс задан в виде кривых зависимостей допустимого суммарного количества отключений и включений от тока. Такой метод задания ресурса применен для выключателей серии ВВБ ЛенПО "Электроаппарат". В этом случае следует отдельно построить кривые зависимости для допустимого количества отключений и допустимого количества включений. При отсутствии специальных указаний предприятия-изготовителя допустимое

количество отключений следует принимать равным двум третям суммарного, допустимое количество включений - одной трети. При наличии специальных указаний следует руководствоваться ими.

1.3.3. Коммутационный ресурс задан в виде одного, двух или трех значений допустимого количества отключений, отнесенных к конкретным значениям тока, например, номинальному току отключения ($I_{0.ном}$), токам $0,6I_{0.ном}$ и $0,3I_{0.ном}$. Кривая зависимости проводится через заданные точки; при токе, меньшем минимального из указанных, кривая зависимости проводится в предположении, что суммарный ток отключения остается постоянным, т.е. что количество отключений обратно пропорционально току. В случае задания только количества отключений номинального тока отключения кривая зависимости строится в предположении постоянного значения суммарного тока отключения.

1.3.4. Коммутационный ресурс задан в виде одного, двух или трех значений допустимого суммарного количества отключений и включений, отнесенных к конкретным значениям тока. Суммарное количество отключений и включений разбивается на значения допустимого количества отключений и включений. При отсутствии специальных указаний допустимое количество отключений принимается равным двум третям от суммарного, допустимое количество включений - одной трети. При наличии специальных указаний следует руководствоваться ими. Затем строятся кривые зависимости допустимого количества отключений и, если требуется, допустимого количества включений от тока методом, указанным в п. 1.3.3.

1.3.5. Коммутационный ресурс задан в виде одного, двух или трех значений допустимого количества отключений, отнесенных к интервалам значений отключаемого тока, например от $0,6I_{0.ном}$ до $I_{0.ном}$ от $0,3I_{0.ном}$ до $0,6I_{0.ном}$, от $0,1I_{0.ном}$ до $0,3I_{0.ном}$. Строится ступенчатая линия по заданным допустимым количествам отключений и заданным интервалам тока. По возможности ступенчатая линия заменяется плавной кривой. Плавная кривая проводится предпочтительно через середины интервалов. Однако при этом следует учитывать, что при $I_{0.ном}$ допустимое количество отключений - не менее четырех. При токах, значения которых меньше, чем середина интервала с наименьшими значениями тока, следует руководствоваться указанием п. 1.3.3 о сохранении постоянным значения суммарного тока отключения.

1.3.6. Коммутационный ресурс задан в виде одного, двух или трех значений допустимого суммарного количества отключений и включений, отнесенных к интервалам значений отключаемого тока. При построении кривой зависимости допустимого количества отключений и, если требуется, включений от тока следует руководствоваться указаниями п. 1.3.4 в части определения допустимого количества отключений и включений и п. 1.3.5 - в части построения кривых зависимостей.

1.3.7. Характерные примеры построения кривых зависимостей количества отключений от тока приведены на рис. 1-6.

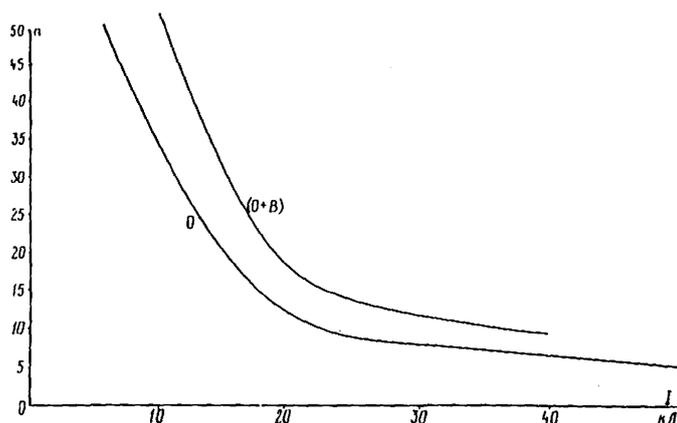


Рис. 1. Кривые зависимости допустимого количества отключений и включений для выключателей серии ВВБ

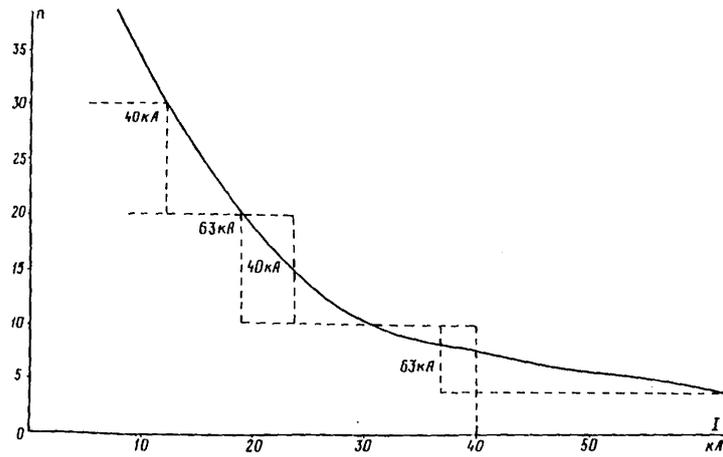


Рис. 2. Кривая зависимости допустимого количества отключений от тока для выключателей серии ВВН

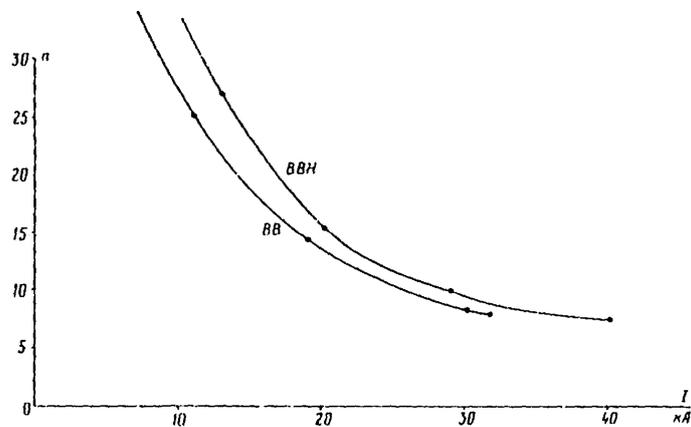


Рис. 3. Кривые зависимости допустимого количества отключения от тока для выключателей серий ВВН и ВВ

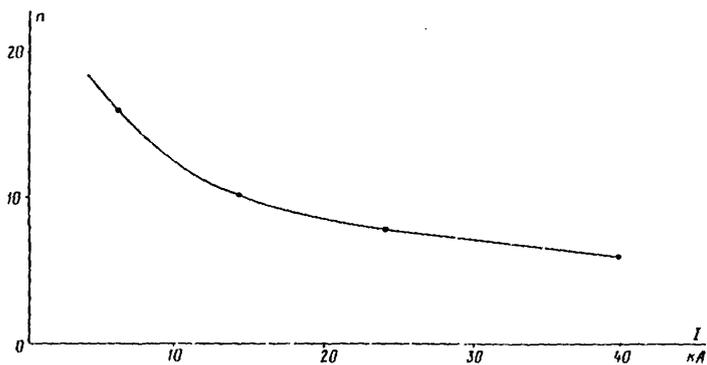


Рис. 4. Кривая зависимости допустимого количества отключений от тока для масляных баковых выключателей У-110

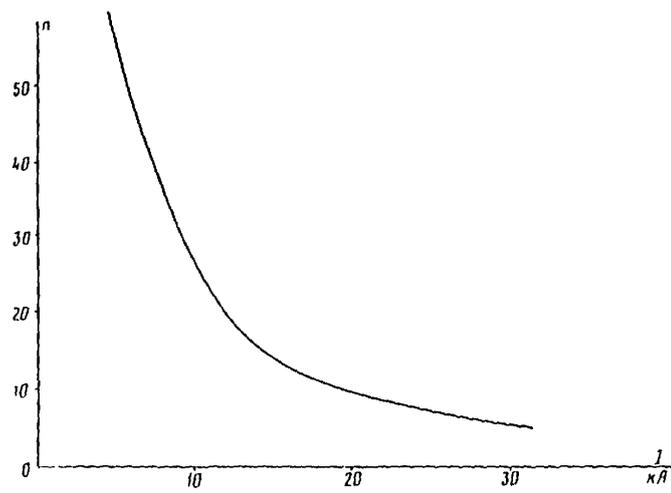


Рис. 5. Кривая зависимости допустимого количества отключений от тока для выключателей ВК-10

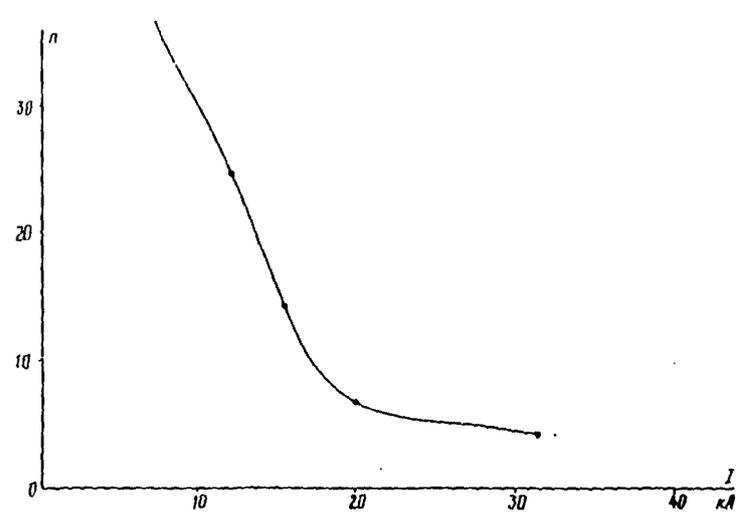


Рис. 6. Кривая зависимости допустимого количества отключений от тока для выключателей ВМП-20

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА КОММУТАЦИОННОГО РЕСУРСА ПРИ ИЗВЕСТНЫХ ЗНАЧЕНИЯХ ТОКОВ КЗ ПРИ КАЖДОЙ ОПЕРАЦИИ ОТКЛЮЧЕНИЯ ИЛИ ВКЛЮЧЕНИЯ

2.1. Регистрация токов КЗ, отключаемых (включаемых) выключателем, может производиться самопишущими приборами, счетчиками КЗ, специальными регистрирующими приборами.

2.2. Износ дугогасительного устройства выключателя при отключении (включении) токов КЗ зависит от многих факторов: вида КЗ, наличия аperiodической составляющей в токе, времени горения дуги, состояния дугогасительного устройства и др. При определении необходимости вывода выключателя в ремонт после коммутации токов КЗ влияние этих факторов усредняется и вводится понятие расхода коммутационного ресурса. Принимается, что если при токе I допустимое количество отключений (включений) составляет $n_{oI}(n_{вI})$, то за одно отключение (включение) расходуется $1/n_{oI}(1/n_{вI})$ часть полного ресурса.

2.3. Расход коммутационного ресурса за одно отключение тока I равен величине, обратной допустимому количеству отключений при данном токе:

$$\rho_{oI} = \frac{1}{n_{oI}} \quad (1)$$

Расход коммутационного ресурса после нескольких отключений (включений) определяется путем суммирования расходов ресурса за каждую операцию отключения (включения). Расход

коммутационного ресурса за К отключений

$$R_{oK} = \sum \rho_{oI} = \sum \frac{1}{n_{oI}} . \quad (2)$$

2.4. Расход коммутационного ресурса следует определять для каждого полюса выключателя. Необходимость вывода выключателя в ремонт определяется по полюсу с наибольшим расходом ресурса.

2.5. Выключатель (полнос выключателя) должен быть выведен в ремонт, если при следующем отключении полюсом выключателя тока КЗ расход его коммутационного ресурса может превысить единицу. Таким образом, условие вывода выключателя в ремонт имеет вид:

$$\sum \frac{1}{n_{oI}} > 1 - \frac{1}{n_{o, \text{мин}}} , \quad (3)$$

где $n_{o, \text{мин}}$ - допустимое количество отключений при наибольшем токе, возможном в месте установки выключателя.

Для выключателей серии ВВБ предприятие-изготовитель в качестве критерия необходимости вывода в ремонт вместо (3) принимает выражение

$$\sum \frac{1}{n_{oI}} \geq 1, \quad (4)$$

т.е. считается возможным срабатывание коммутационного ресурса до значений, превышающих единицу на величину вплоть до $1/n_{o, \text{ном}}$. Это связано с наличием запасов по коммутационной износостойкости. Выражением (4) можно пользоваться только для выключателей серии ВВБ; для других выключателей – только при согласии предприятия-изготовителя.

2.6. Если функции отключения и включения у выключателей выполняются одними и теми же контактами, то, как правило, расход коммутационного ресурса при включении существенно меньше, чем при отключении. Исключение из этого положения имеет место при включении масляных выключателей с номинальным напряжением 35 кВ и выше в цикле АПВ, когда межконтактный промежуток ослаблен газовыми пузырями и происходят его пробой на значительной длине.

Если функции отключения и включения выполняется различными контактными системами (серии воздушных выключателей ВВН, ВВ, ВВБ), то износ контактных систем при включении может определять необходимость вывода выключателя и ремонт.

2.7. Предприятия-изготовители выключателей различно определяют требования к допустимому количеству включений.

2.7.1. Если в инструкции по эксплуатации требования к допустимому количеству включений отсутствуют или даны сведения только по суммарному количеству включений и отключений, то расход коммутационного ресурса может не учитываться и не определяться, пока количество включений не превышает 50% количества отключений. Если количество включений превышает 50% количества отключений и при этом расход коммутационного ресурса по отключению токов КЗ более 0,7, то вопрос о необходимости вывода выключателя в ремонт следует решать совместно с предприятиями-изготовителями выключателей или Научно-исследовательским центром по испытанию высоковольтной аппаратуры.

2.7.2. При ограничениях предприятиями-изготовителями выключателей количества включений на токи КЗ расход коммутационного ресурса следует определять как по отключениям, так и по включениям. Метод определения расхода коммутационного ресурса при включении и критерии вывода выключателя в ремонт аналогичны указанным выше для операций отключения.

Расход ресурса при включении

$$\rho_{вI} = \frac{1}{n_{вI}} . \quad (5)$$

Наработка ресурса

$$R_{вK} = \sum \frac{1}{n_{вI}} . \quad (6)$$

Критерий вывода в ремонт

$$\sum \frac{1}{n_{вI}} > 1 - \frac{1}{n_{в, \text{мин}}} . \quad (7)$$

Ресурс считается исчерпанным, если удовлетворяется любое неравенство (3) или (7).

Пример определения расхода коммутационного ресурса при регистрации токов КЗ приведен

в приложении 1.

3. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДОПУСТИМОГО КОЛИЧЕСТВА ОТКЛЮЧЕНИЙ И ВКЛЮЧЕНИЙ ТОКА

3.1. В настоящем разделе излагаются методы прогнозирования допустимого количества отключений (включений) выключателей, установленных на линиях электропередачи, при отсутствии возможности регистрации токов КЗ. Оценка допустимого количества отключений (включений) производится по известным расчетным значениям токов КЗ в начале и в конце линии с определенной доверительной вероятностью в предположении постоянной плотности распределения вероятности возникновения токов КЗ вдоль защищаемой линии. Метод рекомендуется для внедрения в целях его опытной проверки.

3.2. Метод прогнозирования может применяться, если равномерность плотности распределения вероятности токов КЗ вдоль линии подтверждается эксплуатационными данными, т.е. отсутствуют участки линии с пониженной, надежностью работы, нет сведений о многократных перекрытиях в одном и том же месте и т.д., а также при сохранении начальных значений тока КЗ в начале и в конце линии в течение достаточно длительного периода.

3.3. Допустимое количество отключений (включений) полюса выключателя при приведенных выше условиях с доверительной вероятностью 90% составляет

$$n_{\text{п}} = \left(-\frac{1,3\sigma_{\text{p}}}{2m_{\text{p}}} + \sqrt{\left(\frac{1,3\sigma_{\text{p}}}{2m_{\text{p}}}\right)^2 + \frac{1}{m_{\text{p}}}} \right)^2, \quad (8)$$

где 1,3 - гарантийный коэффициент, соответствующий доверительной вероятности 90%;

σ_{p} - среднее квадратичное отклонение расхода коммутационного ресурса за одно отключение (включение);

m_{p} - среднее значение расхода коммутационного ресурса выключателя за одно отключение (включение).

3.4. Значения m_{p} и σ_{p} определяются из выражений:

$$m_{\text{p}} = \int_{I_{\text{к}}}^{I_{\text{н}}} \rho(I) f(I) dI; \quad (9)$$

$$\sigma_{\text{p}} = \left[\int_{I_{\text{к}}}^{I_{\text{н}}} \rho^2(I) f(I) dI - m_{\text{p}}^2 \right]^{1/2},$$

где $I_{\text{н}}$ - ток при КЗ в начале линии;

$I_{\text{к}}$ - ток при КЗ в конце линии;

$\rho(I)$ - зависимость расхода ресурса от тока, $\rho_{\text{оI}} = \frac{1}{n_{\text{оI}}}$, $\rho_{\text{вI}} = \frac{1}{n_{\text{вI}}}$;

$f(I)$ - плотность распределения вероятности токов КЗ при равной вероятности расположения места КЗ вдоль линии:

$$f(I) = \begin{cases} 0 & \text{при } I \leq I_{\text{к}}, I > I_{\text{н}} \\ \frac{I_{\text{н}} I_{\text{к}}}{I^2 (I_{\text{н}} - I_{\text{к}})} & \text{при } I_{\text{к}} \leq I \leq I_{\text{н}} \end{cases}. \quad (10)$$

3.5. В большинстве случаев зависимости $\rho(I)$ заданы графически, построение их осуществляется с помощью кривых $n_I = \varphi(I)$. Значения m_{p} и σ_{p} могут быть определены графическим построением и интегрированием или вычислены приближенными методами с применением ЭВМ. Пример вычисления приведен в приложении 2. В НИЦ ВВА для определения допустимого количества отключений (включений) разработана специальная программа для ЭВМ типа СМ-4.

3.6. Если зависимость $n_I = \varphi(I)$ задана суммарным током отключения n вычисляются по выражениям:

$$m_{\text{p}} = \frac{I_{\text{н}} I_{\text{к}}}{\sum I} \frac{\ln I_{\text{н}} - \ln I_{\text{к}}}{I_{\text{н}} - I_{\text{к}}}; \quad (11)$$

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{I_n I_k}{(\sum I)^2} - m_p^2}.$$

3.7. Возможны случаи, когда из общего количества отключений (включений) полюса n_n некоторое количество отключений (включений) n'_n произошло при известных значениях коммутируемого тока, а некоторое количество n''_n - при неизвестных токах. В таких случаях допустимое количество отключений (включений) n''_n определяется выражением

$$n''_n = \left(-\frac{1,3\sigma_p}{2m_p} + \sqrt{\left(\frac{1,3\sigma_p}{2m_p}\right)^2 + \frac{1-R'_k}{m_p}} \right)^2, \quad (12)$$

где R'_k - расход коммутационного ресурса за те отключения (включения), где токи известны, $R_k = \sum \rho_i = \sum 1/n'_i$.

3.8. Если в условиях эксплуатации известно только общее количество отключений токов КЗ, но не представляется возможным установить их распределение между полюсами, можно выполнить вероятностную оценку допустимого количества отключений выключателя n_b по допустимому количеству отключений полюса n_n .

Предполагается, что для выключателей на напряжение до 35 кВ в сетях с незаземленной нейтралью вероятность отключения тока КЗ данным полюсом при отключении тока КЗ выключателем в целом составляет 0,7, для выключателей на напряжение 110 кВ и выше в сетях с заземленной нейтралью - 0,4. При этом n_b и n_n с достаточной для практического прогнозирования точностью при доверительной вероятности 90% связаны соотношениями:

для выключателей на напряжение до 35 кВ включительно

$$n_b = (-0,4 + 1,2 \sqrt{n_n})^2; \quad (13)$$

для выключателей на напряжение 110 кВ и выше

$$n_b = (-0,8 + 1,6 \sqrt{n_n})^2. \quad (14)$$

Приложение 1

ПРИМЕР ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСХОДА КОММУТАЦИОННОГО РЕСУРСА ПРИ РЕГИСТРАЦИИ ТОКОВ КЗ

Полюс выключателя ВНВ, установленный на линии с током на выводах выключателя 40 кА, отключил следующее количество КЗ: ток 40 кА - 2 раза; 32 кА - 2 раза; 20 кА - 3 раза; 15 кА - 2 раза; 10 кА - 4 раза.

Расход коммутационного ресурса подсчитываем по выражению (2)

$$R_k = \sum \frac{1}{n_{oi}} = \frac{2}{7} + \frac{2}{9} + \frac{3}{19} + \frac{2}{22} + \frac{4}{35} = 0,867.$$

Расход, при котором выключатель должен быть выведен в ремонт

$$1 - \frac{1}{n_{o\text{мин}}} = \frac{1}{n_{o40}} = 1 - 0,143 = 0,857.$$

Следовательно, после выполненного количества отключений выключатель должен быть выведен в ремонт ($0,867 > 0,857$).

Приложение 2

ПРИМЕР ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДОПУСТИМОГО КОЛИЧЕСТВА ОТКЛЮЧЕНИЯ ТОКОВ КЗ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕМ

Выключатель ВВВ-220 установлен на линии с током при КЗ в начале линии 30 кА и при КЗ в конце линии - 10 кА. Требуется определить, после какого количества отключений КЗ одним полюсом он должен быть выведен в ремонт по условию наработки коммутационного ресурса.

По выражению (10) строим кривую плотности распределения вероятности токов КЗ при равной вероятности расположения места КЗ вдоль линии (на рис. 7).

По кривой зависимости $n_{oI} = \varphi(I)$ на рис. 1 строим зависимость $\rho(I) = \frac{1}{n_{oI}}$ (см. рис. 7).

По показанным на рис. 7 двум зависимостям строим кривые $\rho(I)f(I)$ и $\rho^2(I)f(I)$ на рис. 8. Определяя графически, как площадь, ограниченную соответствующей кривой, значение интегралов $\int_{I_k}^{I_H} \rho(I)f(I)dI$ и $\int_{I_k}^{I_H} \rho^2(I)f(I)dI$ находим m_ρ и σ_ρ по выражениям (9)

$$m_\rho = \int_{I_k}^{I_H} \rho(I)f(I)dI = 0,0604;$$

$$\int_{I_k}^{I_H} \rho^2(I)f(I)dI = 0,0045;$$

$$\sigma_\rho = \left[\int_{I_k}^{I_H} \rho^2(I)f(I)dI - m_\rho^2 \right]^{1/2} = \sqrt{0,0045 - 0,0604^2} = 0,03.$$

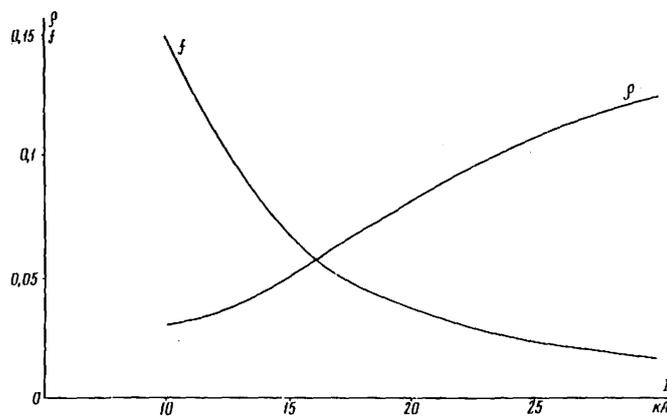


Рис. 7. Кривые зависимостей плотности распределения вероятности $f(I)$ и расхода коммутационного ресурса ρ от тока для выключателей серии ВВБ ($I_H = 30$ кА, $I_K = 10$ кА)

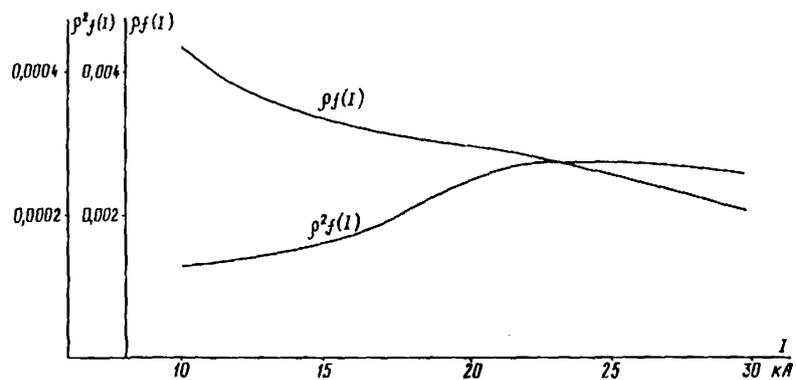


Рис. 8. Кривые зависимостей $\rho f(I)$ и $\rho^2 f(I)$ для выключателей серии ВВБ ($I_H = 30$ кА, $I_K = 10$ кА)

Допустимое количество отключений определяем по выражению (8).

$$n_n = \left(-\frac{1,3 \cdot 0,03}{2 \cdot 0,0604} + \sqrt{\left(\frac{1,3 \cdot 0,03}{2 \cdot 0,0604} \right)^2 + \frac{1}{0,0604}} \right)^2 = 14,4$$

Округляя до целого числа, принимаем допустимое количество отключений полюса - 14.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Построение кривых зависимости допустимого количества отключений (включений) от тока
 2. Определение расхода коммутационного ресурса при известных значениях токов КЗ при каждой операции отключения или включения
 3. Прогнозирование допустимого количества отключений и включений тока
- Приложение 1 Пример определения расхода коммутационного ресурса при регистрации токов КЗ
- Приложение 2 Пример прогнозирования допустимого количества отключений токов КЗ выключателем