

ХАРЬКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Во правах рукописи

ГАПОМЕНКО ГЕННАДИЙ НИКОЛАЕВИЧ

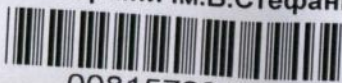
МНОГОАМПЕРНЫЕ АВТОМАТИЧЕСКИЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ
С УМЕНЬШЕННЫМИ МАССО-ГАБАРИТНЫМИ ПОКАЗА-
ТЕЛЯМИ

05.09.06 - электрические аппараты

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Харьков - 1998

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00815732 (Q)

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

Работа выполнена в Акционерном обществе "Низковольтные электрические аппараты и системы" г. Харьков.

Научный руководитель - кандидат технических наук,
доцент Иванов В.Н.

Официальные оппоненты - доктор технических наук,
профессор Копыл В.К.,
кандидат технических наук,
Сбитнев В.И.

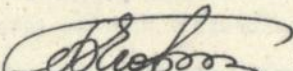
Ведущее предприятие - Харьковский электромеханический завод

Защита состоится " 6 " октября 1993 г.

в 14 часов на заседании специализированного совета К 068.39.04
в Харьковском политехническом институте (310002, г. Харьков, ГСП,
ул. Фрунзе, 21)

С диссертационной работой можно ознакомиться в библиотеке
Харьковского политехнического института

Автореферат разослан " 3 " сентября 1993 г.

Ученый секретарь
специализированного совета  Егоров Б.А.

AB 27.9.88

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Повышение концентрации оборудования в энергосистемах выдвигает ряд требований к аппаратам защиты - автоматическим выключателям (АВ).

Это прежде всего надежность в работе и небольшие габариты и масса, что обеспечивает удобства обслуживания в эксплуатации.

Применяемые в отечественной электроэнергетике многоамперные АВ "Электрон" уступают лучшим образцам ведущих фирм по своим массо-габаритным показателям.

Наиболее перспективный путь разработки конкурентоспособных АВ должен основываться на всестороннем исследовании функционирования АВ и его основных узлов.

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования электромеханических и электродинамических процессов в многоамперных АВ при отключении и включении токов короткого замыкания (КЗ) позволяют определить технические решения для создания ресурсосберегающих конструкций многоамперных АВ, отвечающих всем предъявляемым требованиям.

Цель и задачи работы. Теоретические и экспериментальные исследования динамики электромеханических процессов в выключателях;
создание методов расчета защитных характеристик;
разработка и внедрение на основе выполненных исследований технических решений при создании серии многоамперных АВ с уменьшенной материалоемкостью и габаритами.

Методы исследований. Для исследования ЭДУ создана специальная установка безэрозионных исследований одной из параллельных контактных групп при протекании сквозных токов (КЗ) в широком диапазоне варьируемых параметров (так, контактные навагтия, материал контактов и др.) основанная на: принципе шунтирования размыкаемых электродинамическими усилиями исследуемых контактов неразмыкаемой токопроводящей перемычкой имитирующей параллельные контактные группы; получении вольт-амперных (ВА) характеристик исследуемой контактной группы, как интегрального параметра изменяющихся во времени и носящих вероятностный характер электрических параметров исследуемой электрической цепи (контактной группы); обработке на ЭВМ по разработанной программе экспериментально полученных ВА характеристик совместно с варьируемыми параметрами контактной системы и определение величины тока, приводящего к электродинамическому отбросу контактов при ваданном сочетании варьируемых параметров.

При теоретическом исследовании функционирования АВ и разработке методов расчета включающей способности и ПКС, использован метод, основанный на принципах дискретного геометрического моделирования, ориентированного на реализацию в ЭВМ алгоритмических процессов, обеспечивающих синтез и анализ геометрических конструкций механизма; применены методы многопараметрической оптимизации с использованием методов сканирования и случайного поиска экстремума функций. Технические решения исследовали теоретически и экспериментально, в том числе на натуральных образцах разработанных АВ.

Основные положения, выносимые на вациту:

- ресурсосберегающая методика определения электродинамической устойчивости многоамперных АВ;
- методике расчета токораспределения в параллельных контактах

многоамперных АВ;

- методика расчета функционирования многоамперных АВ при включении на токи КЗ;

- технические решения по а.с. № I5I3540, № I554046, № I56II26, № I597952 и свидетельству на промышленный образец № I5603, полученные при разработке новых серий многоамперных АВ, с уменьшенными массо-габаритными показателями.

Практическая ценность диссертационной работы:

1. Разработанная ресурсосберегающая методика определения электродинамической устойчивости многоамперных АВ позволяет не менее, чем на порядок снизить расход электроэнергии при исследованиях и исключить разрушение серебросодержащих контактных материалов.

2. Методика расчета функционирования позволяет сократить сроки проектирования многоамперных АВ, уменьшить затраты на изготовление и испытания опытных образцов, оптимизировать материалоемкость и габариты, повысить надежность защиты энергообъектов от токов КЗ.

3. Разработанные на уровне изобретений технические решения позволили реализовать практические и экспериментальные исследования в АВ серии ВА77 с уменьшенными массо-габаритными показателями с параметрами находящимися на уровне лучших иностранных образцов.

4. Результаты работы могут быть использованы при исследовании и проектировании новых серий АВ.

Реализация результатов работы

Разработанная серия многоамперных выключателей ВА77 с уменьшенными малогабаритными показателями передана для внедрения в серийное производство.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на IV Всесоюзной научно-технической

конференции "Состояние и перспектива развития производства аппаратов низкого напряжения" г. Гомель (1981 г.), отраслевых межведомственных комиссиях по приемке ОКР многоамперных выключателей на токи 1600-4000 А ВНИИэлектроаппарат г. Харьков (1984, 1990, 1992 г.г.)

В полном объеме диссертационная работа доложена на заседаниях научно-технического совета АО ЭНАС (Акционерное общество "Электрические аппараты и системы") и кафедры "Электрические аппараты" Харьковского политехнического института г. Харьков (1993 г.)

Публикации. По результатам выполненных исследований и разработок опубликовано 16 публикаций, в том числе 5 авторских свидетельств СССР на изобретения.

Во введении обоснована актуальность темы, сформулирована новизна полученных результатов.

В первой главе рассмотрены функциональные и конструктивные особенности многоамперных автоматических выключателей, динамические процессы в их контактных системах. Анализ литературных данных показывает, что многоамперные АВ характеризуются наличием главных и дугогасительных контактов (ГК и ДК), разделением контактов на ряд параллельных, наличием электродинамических компенсаторов на ДК, выполнением механизма с накоплением энергии перед включением, ограничением верхней границы зоны селективности (наличием мгновенного расцепителя). Важнейшими параметрами, определяющими массу и габариты АВ являются электродинамическая устойчивость (ЭДУ), предельная коммутационная способность (ПКС) и включающая способность (ВС).

Наиболее энергетически емким является процесс включения на токи КЗ, который можно разделить на движение механизма до замыкания ДК, когда противодействуют только пружины отключения, движение до замыкания ГК, когда к противодействующим силам, добавляются усилия контактных пружин ДК и электродинамические усилия отталкивания и движения до момента полного выбора провала, где

добавляется сопротивление пружин и усилия отталкивания ГК, хотя электродинамические усилия уменьшаются за счет перераспределения токов между ДК и ГК (и усилий в электродинамическом компенсаторе). Показано, что с увеличением требуемого ПКС увеличивается масса и габариты АВ за счет увеличения мощности привода и необходимой энергоемкости механизма, что, кроме того, приводит и к увеличению механического износа. При включении на сверхтоки может происходить отброс контактов, что приводит к их свариванию. В случае использования мгновенной отсечки необходимо, чтобы расцепление механизма происходило до размыкания ДК. Максимально возможный ток при ПКС определяется из условия равенства времени отсечки и времени замкнутого состояния контактов при недовключении. Анализ литературы показал, что отсутствует методика расчета АВ, учитывающая комплекс факторов, влияющих на его функционирование. Динамические процессы в контактных системах в значительной степени определяются наличием параллельных контактов. В АВ переменного тока в результате действия поверхностного эффекта и эффекта близости токи по ламелям распределяются неравномерно, что приводит к увеличению возможности отброса контактов. Для увеличения равномерности токораспределения рекомендуют увеличивать активное и индуктивное сопротивление контактов, однако такие решения противоречат основной задаче - обеспечить пропускание тока с минимальными потерями при уменьшении контактной системы.

Из рассмотренных литературных источников следует, что в большей степени электродинамическая устойчивость главных контактов определяется изменяющимися во времени электродинамическими усилиями. На эти усилия оказывают влияние количество параллельных контактов, их взаимное расположение, материал контактов, кинематическая схема контактной системы.

Прямых расчетных зависимостей между этими факторами не уста-

новлено ввиду сложности их взаимодействия в динамике, вызванных неравномерностью распределения токов в параллельных контактах, обусловленных разбросом и изменением величины переходного сопротивления контактов, эффектом вытеснения тока при прохождении сверхтоков переменного напряжения, большими материальными затратами, вызванными разрушением контактов в процессе эксперимента. Отсутствуют комплексные методы расчета функционирования АВ при включении, в т.ч. на токи КЗ, для расчета ШС и выключающей способности. Сформулированы цель и задачи работы.

Во второй главе разработана методика определения электродинамической устойчивости параллельных контактов многоамперных автоматических выключателей, основанная на определении распределения токов в параллельных ламелях контактной системы с учетом метода статистического моделирования зависимостей напряжения на контактах от величины протекающего тока для различных значений контактного нахвата, материалов контактов, а также конструктивных параметров контактной системы.

Система уравнений, описывающая распределение токов в параллельных ламелях, включает в себя уравнение баланса напряжений во всех параллельных ветвях и уравнение баланса токов в системе:

Баланс напряжений для j -й параллельной ветви:

$$\Delta U = U_{kj}(i_j(t)) + (R_{kj}^0 + R) i_j(t) + \sum_{m=1}^n \Delta l_{jm} \frac{di_m(t)}{dt}, \quad (1)$$

Баланс токов в системе:

$$\sum_{j=1}^n i_j(t) = i(t) = I_m \sin \omega t \quad (2)$$

Начальное условие:

$$i_j(0) = 0, \quad j = 1, \dots, n \quad (3)$$

где n - число параллельных ветвей;

$U_j(i_j(t))$ - падение напряжений из вольт-амперной характеристики коммутирующего контакта в j -й ветви, соответствующее току $i_j(t)$;

R_j^0 - сопротивление j -й параллельной ламели вблизи оси вращения; $R_{kj}^0 \approx R_k^0 = const$;

R - сопротивление шины контактодержателя постоянному току;

ΔU - падение напряжения на полюсе выключателя;

$i_j(t)$ - ток в j -й ламели;

I_m - максимальное значение сквозного тока;

$\omega = 314 \text{ рад/с}$ - круговая частота;

M_{jm} - взаимные индуктивности параллельных шин (при $j=m$ $M_{jj} = L_j$ - собственная индуктивность).

Для определения вольтамперных характеристик контактов разработаны методика безэрозионных экспериментальных исследований и установка, имитирующая работу параллельных контактов в широком диапазоне изменяемых параметров, влияющих на протекание процесса. Поскольку величина тока измеряется по падению напряжения, снимаемого с поверхности подвижного контактодержателя, для определения истинного значения тока, учитывается распределение его плотности по сечению прямоугольной шины, имеющей вид параллелепипеда конечных размеров $2a \cdot 2b$, определяемое на основании уравнения Максвелла:

$$\frac{\partial^2 \delta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \delta}{\partial y^2} = \frac{\mu_0}{\rho} \frac{\partial \delta}{\partial t}, \quad (4)$$

где $-a < x < a$; $-b < y < b$; $t > 0$;

μ_0 - магнитная проницаемость;

ρ - удельное электрическое сопротивление материала контактодержателя;

δ - плотность тока;

Начальные и граничные условия:

$$\begin{aligned} \delta(x, y, 0) &= 0 \\ \delta(\pm a, y, t) &= \delta(\pm b, x, t) = \delta_n(t) \end{aligned} \quad (5)$$

Определяем коэффициент динамичности, учитывающий явление скин-эффекта:

$$\eta = \frac{i(t)}{i_d(t)} = \frac{64}{\pi^4} \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{d_{n,m}}{(2n+1)^2(2m+1)^2} \int_0^t \exp[-d_{n,m}(t-\lambda)] u^*(\lambda) d\lambda; \quad (6)$$

где $\eta = \eta(t)$ - коэффициент динамичности,
 λ - текущее время интервала интегрирования.

$$\begin{aligned} u^*(\lambda) &= U(\lambda)/u(t), \\ d_{n,m} &= \frac{\mathcal{H}t^2}{4} \left[\frac{(2n+1)^2}{a^2} + \frac{(2m+1)^2}{b^2} \right], \end{aligned} \quad (7)$$

где $\mathcal{H} = \frac{\rho}{\mu_0}$

С учетом (6) имеем:

$$i(t) = i_0(t) \eta(t) \quad (8)$$

Для каждой из 160 осциллограмм, снятых для четырех контактных нажатий и различных контактных материалов определены вольт-амперные характеристики. Случайный характер площади контактирования и увеличение ее по мере размягчения материала вследствие нагрева протекающим током обуславливают статистический разброс вольт-амперных характеристик, неравномерность токовых нагрузок и электродинамической устойчивости контактов. Данные представлены в табл. I.

Таблица I

Контактное нажатие, Н	Контактная пара			
	КМК-АЗОМ- КМК-АЗ2	КМК-АЗОМ- КМК-АЗ3	КМК-А40- КМК-А40	КМК-АЗОМ- КМК-А10М
20	5 - 5 - 6,5	5 - 7	4,5 - 5,1	3,5 - 4,5
40	9,5 - 12	7 - 8	6,5 - 7,0	4,5 - 5,4
60	13 - 16	8 - 9	7 - 9	6,7 - 9,0
80	16 - 19	9 - 11	9 - 11	8 - 10

Разработана методика вероятностной оценки величины тока электродинамической устойчивости контактов (ЭДУ).

Критериями ЭДУ служат математические ожидания, дисперсия и функция плотности вероятности максимального значения тока $I_{т\text{уст}}$, при котором не происходит отброса контактов. На рис. I приведены результаты расчета на ЭВМ токов ЭДУ, откуда следует, что повышение ЭДУ возможно не только за счет контактного нажатия, но и за счет контактных материалов.

В третьей главе описана методика расчета функционирования АВ, позволившая решить следующие задачи:

- 1) расчет динамики механизма АВ при заданных элементах конструкции, обеспечивающих электродинамическую устойчивость;
- 2) вычисление основных технических характеристик выключателя (включающей способности ρ_s и максимального значения тока ПНС ρ_k) при фиксированных значениях параметров АВ;
- 3) оптимизацию усилий в механизме АВ для снижения материалоемкости выключателя и обеспечения работоспособности в заданной зоне селективности.

Результатом расчета динамики являются вычисленные на ЭВМ законы движения $\varphi_i(t)$ ($i = \overline{1, n}$) звеньев выключателя при включении АВ (в том числе на токи КЗ) с учетом трения, внешних усилий и особен-

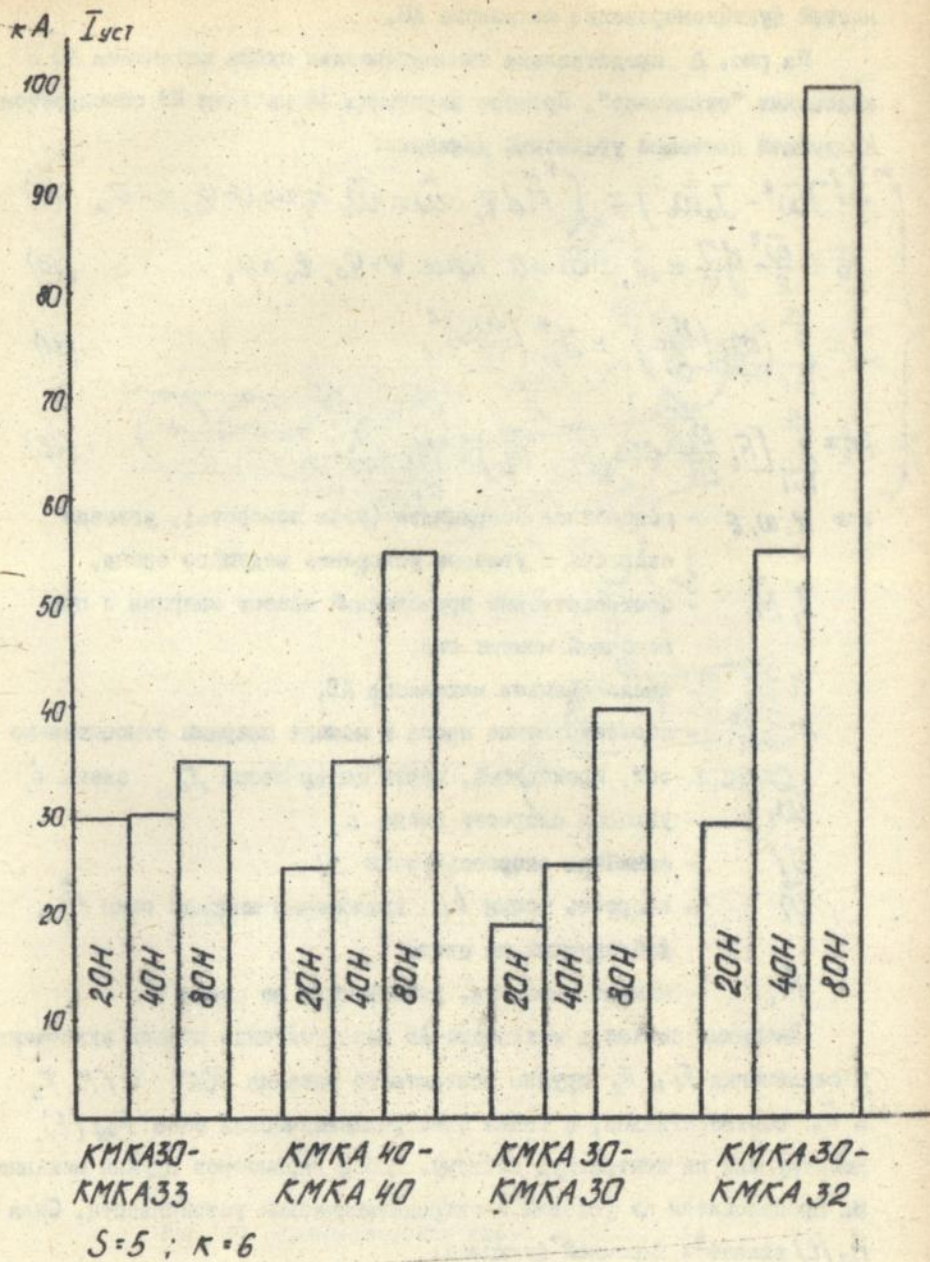


Рис. I. Диаграммы тока ЭДУ

ностей функционирования механизма АВ.

На рис. 2 представлена кинематическая схема механизма АВ в положении "отключено". Процесс включения АВ на токи КЗ описывается следующей системой уравнений движения:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{1}{2} (J\tilde{\omega}^2 - J_0\tilde{\omega}_0^2) &= \int_{\varphi_0}^{\varphi} \tilde{M} d\varphi, \quad \tilde{\omega} = \tilde{\omega}_0 \text{ при } \varphi = \varphi_0, t = 0, & (9) \\ J\tilde{\varepsilon} + \frac{\tilde{\omega}^2}{2} \frac{dJ}{d\varphi} &= \tilde{M}, \quad \tilde{\omega} = 0 \text{ при } \varphi = \varphi_0, t_0 = 0, & (10) \\ J &= \sum_{i=1}^n [m_i \left(\frac{v_i^*}{\tilde{\omega}}\right)^2 + J_i^* \left(\frac{\tilde{\omega}_i}{\tilde{\omega}}\right)^2], & (11) \\ M &= \sum_{i=1}^n \left[F_i \frac{v_i}{\tilde{\omega}} \cos(\vec{F}_i, \hat{v}_i) + \tilde{M}_i \frac{\tilde{\omega}_i}{\tilde{\omega}} \right], & (12) \end{aligned} \right.$$

где $\varphi, \omega, \varepsilon$ - обобщенная координата (угол поворота), угловая скорость и угловое ускорение ведущего звена,

J, \tilde{M} - соответственно приведенный момент инерции и приведенный момент сил,

n - число звеньев механизма АВ;

m_i, J_i^* - соответственно масса и момент инерции относительно оси, проходящей, через центр массы S_i звена i ,

$\tilde{\omega}_i$ - угловая скорость звена i ,

v_i^* - линейная скорость точки S_i ,

\vec{v}_i - скорость точки h_i приложения внешней силы \vec{F}_i , действующей на звено i ,

\tilde{M}_i - момент пары сил, действующих на звено i .

Внешними силами в механизме АВ являются силы пружин включения и отключения F_1 и F_2 пружин контактного нажатия ДК и ГК F_3 и F_4 соответственно, а также электродинамическая сила $F_{эд}(t)$, действующая на контактную систему. Выбор параметров пружин механизма производится из условий электродинамической устойчивости. Сила $F_{эд}(t)$ является кусочной функцией:

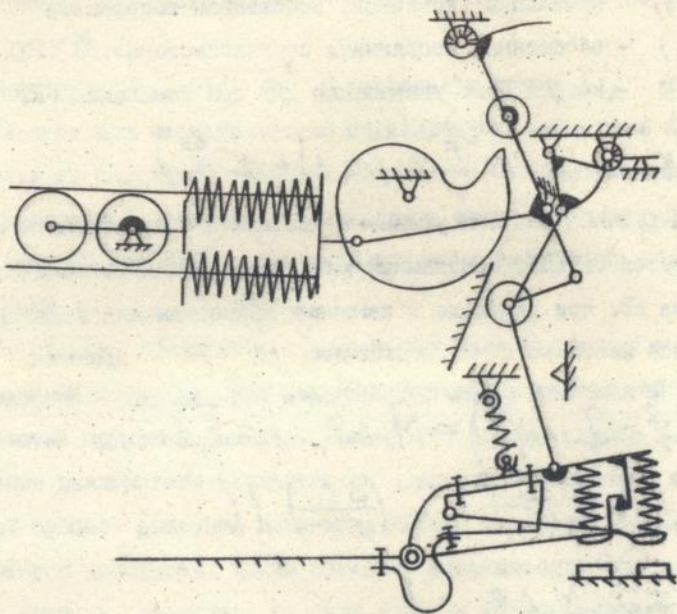


Рис. 2. Кинематическая схема механизма АВ
в положении "отключено"

$$F_{3g}(t) = \begin{cases} 0 & \text{при } t(\varphi_1) \leq t < t(\varphi_2), \\ F(t-t(\varphi_2)) & \text{при } t(\varphi_2) \leq t < t(\varphi_3), \\ \eta F(t-t(\varphi_2)) & \text{при } t(\varphi_3) \leq t \leq t(\varphi_4), \end{cases} \quad (13)$$

где $\varphi_1(\varphi_4)$ - начальная (конечная) обобщенная координата
 $\varphi_2(\varphi_3)$ - обобщенная координата соприкосновения ДК (ГК),
 $\eta = 0,285$ - коэффициент уменьшения ЭДУ при замыкании ГК,

$$F(t) = \frac{3}{2} K_K I_m^e \left(1 - 2e^{-\frac{t}{T}} \cos(\omega_c t) + e^{-\frac{2t}{T}} \right)$$

Для решения системы уравнений движения с применением ЭВМ используется способ, основанный на дискретизации движения звеньев механизма АВ. При переходе к конечным разностям для шага $\Delta\varphi$ обобщенной координаты φ соотношения (9) ÷ (12) принимают вид

$$\frac{1}{2} (J_j \omega_j^2 - J_{j-1} \omega_{j-1}^2) = \tilde{M}_j \Delta\varphi, \quad j = \overline{2, \ell+1}; \quad (14)$$

$$J_j \approx \sum_{l=1}^n [m_l \left(\frac{\Delta S_{lj}}{\Delta\varphi} \right)^2 + J_l^* \left(\frac{\Delta\varphi_{lj}}{\Delta\varphi} \right)^2]; \quad (15)$$

$$\int_{\varphi_1}^{\varphi_4} \tilde{M} d\varphi \approx \sum_{j=2}^{\ell+1} \tilde{M}_j \Delta\varphi, \quad (16)$$

$$\tilde{M}_j \approx \sum_{i=1}^n [F_{ij} \left(\frac{\Delta h_{ij}}{\Delta\varphi} \right) \cos(\vec{F}_{ij}, \vec{U}_{ij}) + \tilde{M}_{ij} \frac{\Delta\varphi_{ij}}{\Delta\varphi}], \quad (17)$$

$$\tilde{\omega}_j^2 = \frac{2\tilde{M}_j \Delta\varphi + J_{j-1} \omega_{j-1}^2}{J_j}, \quad j = \overline{3, \ell+1},$$

$$\tilde{\omega}_1 = 0, \quad \tilde{\omega}_2^2 = \frac{2\tilde{M}_1 \Delta\varphi}{J_1}$$

где $\ell = \frac{|\varphi_1 - \varphi_4|}{\Delta\varphi}$,

ΔS_{lj} - малое перемещение точки S_i звена i на шаге j по времени,

$\Delta h_{ij}, \Delta \varphi_{ij}$ - малое перемещение точки h_i и угловое перемещение звена i на этом же шаге соответственно.

Соотношение (14) учитывает и обратный ход механизма при отбросе контактов ($\omega_j < 0$). Численное интегрирование функции $\frac{1}{\omega(\varphi)}$ позволяет построить зависимость $\varphi(t)$ в виде последовательности $\{\varphi_j, t_j\}$.

Значения φ_{ij}, m_i, J_i^* и координаты точек S_{ij}, h_{ij} определяются при геометрическом моделировании механизма АВ в зависимости от положения звеньев. Применение метода геометрического моделирования позволило использовать конструкторскую документацию (эскизы деталей) в качестве исходной информации для расчетов на ЭВМ.

На рис. 3 представлены кривые $\varphi(t)$ для различных амплитудных значений тока I_m при заданных значениях жесткостей и начальных нажатий пружин механизма. Кривые 1-7 соответствуют полному включению выключателя (без отброса), кривая 8 описывает колебательный процесс движения механизма АВ при включении, а кривые 9, 10 - отброс контактов. Таким образом, зависимости $\varphi(t)$ позволяют, в свою очередь, построить графики времени функционирования АВ от I_m , приведенные на рис. 4. По этим графикам определяются технические характеристики АВ (ρ_s, ρ_k):

$$\rho_s = \{ \max(I_m) : \text{sign}(\dot{\varphi}) = \text{const} \},$$

$$\rho_k = \{ \max(I_m) : t_c \leq t_m(I_m) \},$$

где $\text{sign}(\dot{\varphi})$ - знак $\dot{\varphi}$,

t_m - суммарное время включения и отключения,

t_c - время от возникновения КЗ до подачи с полупроводникового расцепителя сигнала на отключение АВ.

Для снижения материалоемкости выключателя и обеспечения требуемых значений ρ_s и ρ_k решается задача оптимизации усилий в механизме АВ. целевая функция данной оптимизационной задачи имеет вид

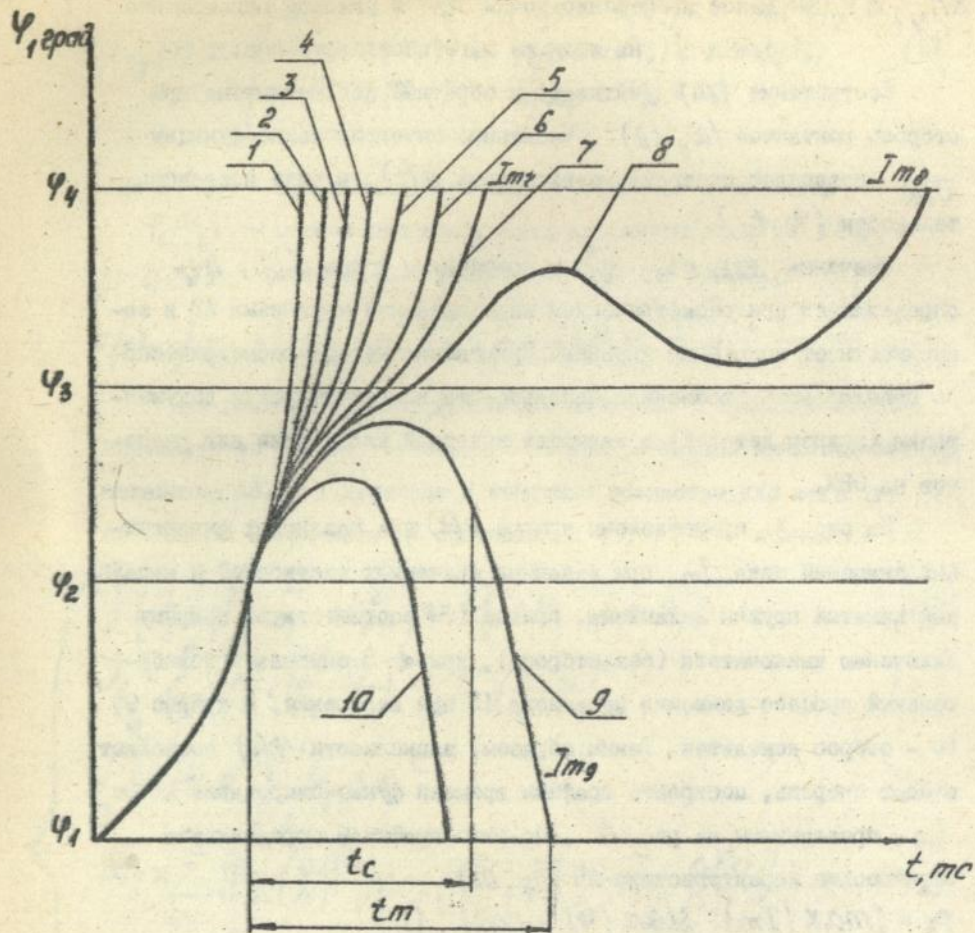


Рис. 3. График закона движения ведущего звена механизма АВ для различных значений I_m :

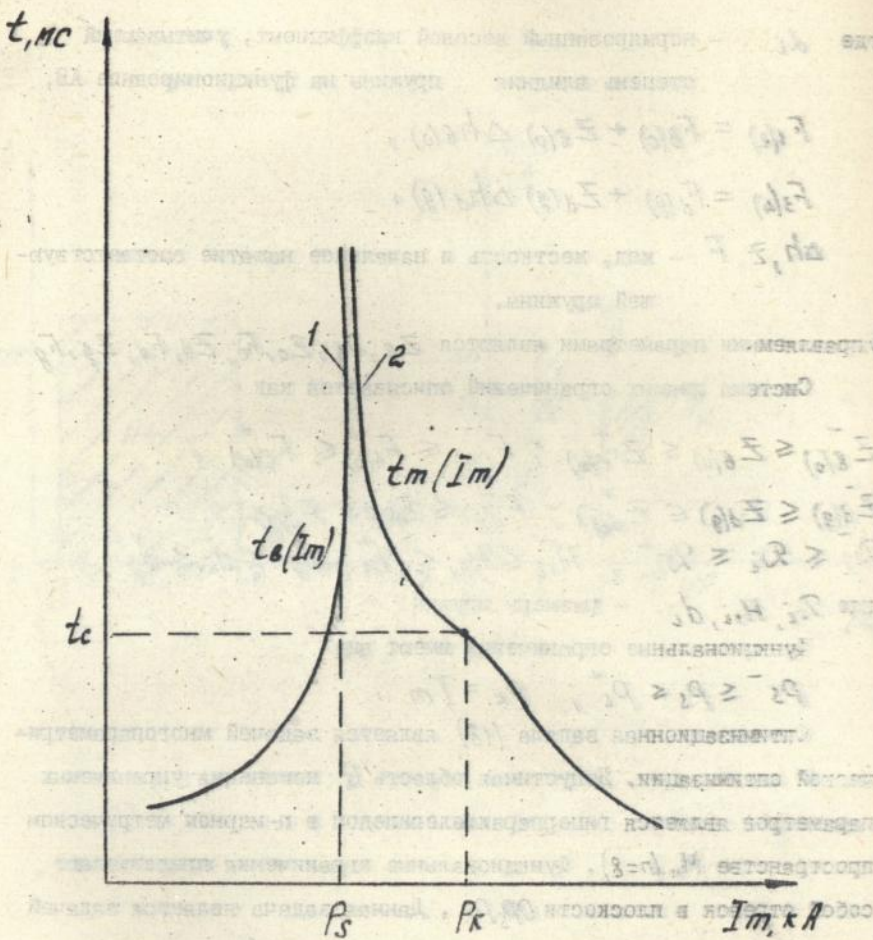


Рис. 4. Зависимость времени включения АВ

$$F = \min \left\{ \sum_{i=1}^2 d_i F_i \right\}; \quad \sum_{i=1}^2 d_i = 1, \quad (18)$$

где d_i - нормированный весовой коэффициент, учитывающий степень влияния пружины на функционирование АВ,

$$F_1(z) = F_{e(z)} + Z_{e(z)} \Delta h_{e(z)},$$

$$F_2(d) = F_{d(g)} + Z_{d(g)} \Delta h_{d(g)},$$

$\Delta h, Z, F$ - ход, жесткость и начальное натяжение соответствующей пружины.

Управляемыми параметрами являются $Z_e, F_e, Z_d, F_d, Z_g, F_g$.

Система прямых ограничений описывается как

$$Z_{e(0)}^- \leq Z_{e(0)} \leq Z_{e(0)}^+; \quad F_{e(0)}^- \leq F_{e(0)} \leq F_{e(0)}^+;$$

$$Z_{d(g)}^- \leq Z_{d(g)} \leq Z_{d(g)}^+; \quad F_{d(g)}^- \leq F_{d(g)} \leq F_{d(g)}^+;$$

$$D_i^- \leq D_i \leq D_i^+; \quad H_{ii}^- \leq H_{ii} \leq H_{ii}^+; \quad d_i^- \leq d_i \leq d_i^+;$$

где D_i, H_{ii}, d_i - размеры пружин

функциональные ограничения имеют вид

$$P_s^- \leq P_s \leq P_s^+; \quad P_k = I_m.$$

Оптимизационная задача (18) является задачей многопараметрической оптимизации. Допустимая область Q изменения управляемых параметров является гиперпараллелепипедом в n -мерном метрическом пространстве $M_n (n=8)$. Функциональные ограничения представляют собой отрезок в плоскости $O P_s P_k$. Данная задача является задачей нелинейного программирования, поскольку $P_s(x) (Z_e, F_e, Z_d, F_d, Z_g, F_g)$ - нелинейная функция.

Проекция гиперпараллелепипеда Q на плоскости $O Z_e F_e, O Z_d F_d, O Z_g F_g$ и $O Z_e F_e, O Z_d F_d, O Z_g F_g$ является прямоугольниками Π_e, Π_d и Π_g соответственно, представленные на рис. 5.

Пределы изменения управляемых параметров определяются из конструктивных и технологических соображений, а также из условия обеспечения работоспособности АВ.

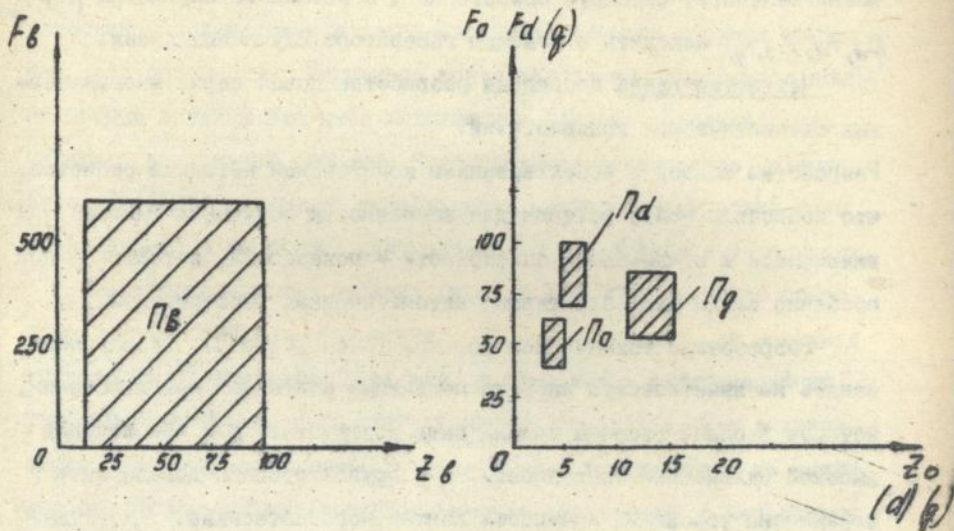


Рис. 5. Проекция P_b , P_a , P_d и P_g области Q
управляемых переменных на плоскости
 $O z_b F_b$, $O z_0 F_0$, $O z_d F_d$ и $O z_g F_g$
соответственно

С целью минимизации машинного времени для решения оптимизационной задачи используется комбинированный метод - сочетание методов сканирования и случайного поиска экстремума функции F . Анализ области Q показывает, что параметры Z_g и F_g целесообразно изменять, сканируя область Q , а остальные параметры ($Z_o, F_o, Z_d, F_d, Z_g, F_g$) находить с помощью генератора случайных чисел.

Четвертая глава посвящена разработке новой серии многоамперных автоматических выключателей.

Разработка велась с использованием комплексной методики расчетов, что позволило найти решения для возможности получения высокой включающей и отключающей способности - показатели, которые особенно важны для селективных автоматических выключателей.

Разработано техническое решение (А.с. 1513540), позволяющее влиять на кинетическую энергию подвижных контактов при включении, которая с одной стороны должна быть достаточной для обеспечения высокой включающей способности, а с другой стороны должна быть ограничена условиями прочности контактного материала.

Для обеспечения минимального времени взвода механизма многоамперного выключателя требуется либо применение мощного привода с использованием систем торможения, либо применение электромагнитной фрикционной муфты, что увеличивает габариты и массу выключателя.

С целью уменьшения массогабаритных показателей и упрощения конструкции, в качестве муфты сцепления использована обгонная муфта, обойма которой укреплена на выходном валу редуктора, ступица соединена с валом кулачка, щеки шарнирно установлены на оси вращения ступицы и на щеке шарнирно установлен двулучий рычаг, один конец которого имеет U -образный паз, охватывающий штифт ступицы, проходящий через отверстие в щеке, на рычаге механизма свободного расцепления установлен упор с возможностью взаимодействия со вторым концом двулучевого рычага. Такое решение

(а.с. № I554046) позволяет вводить в зацепление последовательно различные детали узлов при операциях взвода механизма, включения и отключения с минимальными затратами энергии и количеством узлов. ПКС выключателя в значительной степени определяется электродинамической устойчивостью в токопроводящих шарнирах главных контактов. Для обеспечения надежного контактирования применяются обычно мощные пружины или иные технические решения, увеличивающие габариты контактной системы. Разработанное техническое решение (а.с. I56II26) позволяет использовать электродинамические силы отталкивания в контактах для увеличения сил прижатия в шарнирах.

Разработано также решение (а.с. № I597952), которое позволяет компактно разместить мощные пружины включения, не усложняя технологии изготовления аппарата, и обеспечить внутрисерийную унификацию многополюсных коммутационных аппаратов. Это достигается применением изоляционного основания, выполненного из унифицированных изоляционных стенок, жестко соединенных с неподвижными токоподводящими шинами и основанием механизма включения.

Компановка автоматического выключателя защищена свидетельством на прообразец № I5603.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ:

1. На основании проведенного обзора конструкций многоамперных автоматических выключателей и условий их эксплуатации определены основные параметры, определяющие массо-габаритные показатели этой группы изделий.

2. Разработаны экспериментальная установка и ресурсосберегающая методика исследования ПКС в режимах сквозных токов короткого замыкания.

3. Экспериментально исследованы вольт-амперные характеристики параллельных контактов с учетом скин-эффекта для различных контактных материалов, нажатий и предельные значения $\sigma_{\text{дл}}$.

4. Разработана математическая модель и определено распределение тока в параллельных ламелях для заданных контактных материалов, контактных нажатий, количества параллельных контактов, расстояния между ними.

5. Определены статистические критерии для оценки электродинамической устойчивости параллельных контактов.

6. Сформулирована и решена задача оптимизации пружин включения механизма АВ.

7. Разработана комплексная методика расчета и математическая модель функционирования механизма АВ с учетом элементов САПР. Реализация этой методики позволила организовать поиск необходимых значений исходных данных (контактных нажатий, параметров пружин) для достижения требуемых значений включающей способности, ПКС и снижения массо-габаритных показателей многоамперных автоматических выключателей.

8. Разработана и передана для внедрения в серийное производство серия многоамперных выключателей ВА77 с уменьшенными массо-габаритными показателями.

Основное содержание работы опубликовано в следующих работах:

1. А.с. № I5I3540. Гапоненко Г.Н. и др.
2. А.с. № I554046. Гапоненко Г.Н. и др.
3. А.с. № I56II26. Гапоненко Г.Н. и др.
4. А.с. № I597952. Гапоненко Г.Н. и др.
5. Свидетельство на прообразец № I5603. Войно-Данчишен Б.Н., Гапоненко Г.Н. и др.
6. Гапоненко Г.Н., Мильгром С.Я., Гайдаенко В.М., Королев Н.В., Дашкевич А.С. Состояние и перспективы создания новых многоамперных автоматических выключателей низкого напряжения. М.: Информэлектро, 1989, 31 с.
7. Гапоненко Г.Н., Долинский Ю.М., Королев Н.В. и др. Особенности поведения параллельных контактов при протекании токов короткого замыкания // Низковольтные аппараты защиты и управления: Сб. науч. тр. Харьков, 1988. С. 32-41.
8. Пустыльник Г.М., Гапоненко Г.Н. Геометрическое моделирование механизма свободного расцепления многоамперного автоматического выключателя // Низковольтные аппараты для энергосистем и электроприводов: Сб. науч. тр. Харьков, 1986. С. 186-196.
9. Гапоненко Г.Н., Долинский Ю.М., Королев Н.В., Маргулис А.И. Особенности поведения параллельных контактов при протекании токов короткого замыкания // Низковольтные аппараты защиты и управления: Сб. науч. тр. Харьков, 1987. С. 32-41.
10. Пархоменко С.В., Пустыльник Г.М., Гапоненко Г.Н. Моделирование кинематики механизма свободного расцепления автоматического выключателя. Харьков, 1985. 16 с. Деп. в Информэлектро 24.03.86 г. № 311 Л.
11. Долинский Ю.М., Королев Н.В., Гапоненко Г.Н. Расчет процессов включения токов короткого замыкания селективных автоматических выключателей // Аппараты низкого напряжения: Тр. ВНИИР,

Чебоксары, 1981. вып. 8. С. 33-36.

12. Гапоненко Г.Н., Гайдаенко В.М. О возможности снижения материалоемкости и трудоемкости многоамперных выключателей за счет использования новых конструктивных решений. - Состояние и перспективы развития производства аппаратов низкого напряжения. LV Всесоюз. научно-техн. конференция. Гомель, 1981.

13. Гапоненко Г.Н. Определение технических характеристик многоамперного автоматического выключателя. - Низковольтные аппараты защиты и управления. Сб. науч. трудов. Харьков, 1993. С. 215-222.

14. Крыгина Т.П., Гапоненко Г.Н., Павленко Ю.П. Новый контактный материал для многоамперных автоматических выключателей. Сб. науч. трудов, Харьков, 1993, С. 223-229.

15. Крыгина Т.П., Павленко Ю.П., Меленный А.М., Гапоненко Г.Н., Долинский В.М. Электрические контакты высокой эрозионной стойкости. Сб. науч. трудов, Харьков, 1993, С. 230-237.

16. Гапоненко Г.Н., Пустыльник Г.М., Мильгром С.Я. Расчет динамики механизма многоамперного автоматического выключателя // Аппараты низкого напряжения: Тр. ВНИИЭА. Харьков, 1990, С. 35-43.

1861.08

AB 27.908