

УДК 621.3.064.31

МЕХАНИЧЕСКИЙ РАЗНОС ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ ДЛЯ КОММУТАЦИИ БАТАРЕИ СТАТИЧЕСКИХ КОНДЕНСАТОРОВ 110 кВ

Д. А. Тихончук

fchu@mail.ru

ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)
ООО «Башкирэнерго»

Поступила в редакцию 22.12.2013

Аннотация. Рассмотрены основные задачи управляемой коммутации высоковольтных выключателей 110 кВ. Представлены способы достижения требуемой разновременности срабатывания полюсов выключателя за счет выполнения различных вариантов механического разноса. Представлен алгоритм вычисления параметров механического разноса (разновременности и взаимного угла). Определены критерии возможности реализации механического разноса высоковольтного выключателя. Сформированы выводы о целесообразности и возможности применения данного научно-технического решения.

Ключевые слова: управляемая коммутация; алгоритм вычисления параметров механического разноса; разновременность; механический разнос; высоковольтный выключатель; батарея статических конденсаторов.

ВВЕДЕНИЕ

Наиболее инновационным подходом при коммутации нагрузки 110–500 кВ является управляемая коммутация. Данный подход представляет собой способ устранения вредных последствий от переходных процессов посредством того, что команды включения или отключения выключателя задерживаются таким образом, чтобы замыкание или размыкание контактов происходили в оптимальный момент времени по отношению к фазному углу тока или напряжения.

В Российской Федерации данный метод коммутации не нашел широкого распространения в связи со сложностью приводов и синхронизаторов и их высокой стоимостью [1]. Синхронизатор – микропроцессорное устройство, позволяющее производить коммутацию в требуемый момент времени. Сегодня при полюсном управлении выключателем (устанавливается три привода) типовой синхронизатор позволяет управлять отдельно каждым полюсом, чтобы обеспечить замыкание каждого полюса в надлежащий момент времени. При трехполюсном управлении одним приводом полюса регулируют (разносят) механически.

Подобное решение является наиболее экономически целесообразным, но требует разработки математической модели и наглядного визуального представления. На практике же встречается лишь экспериментальная подстройка разновременности без учета множества различных факторов [2, 3].

При коммутации батареи статических конденсаторов 110 кВ (БСК) вследствие большой запасенной энергии возникают броски тока, переходные процессы и, как следствие, серьезные перенапряжения, которые являются опасными для оборудования, так как возможен пробой межфазной и фазной изоляции оборудования.

Основным коммутирующим аппаратом для батареи статических конденсаторов 110 кВ является высоковольтный выключатель 110 кВ, способный включать и отключать емкостную нагрузку. На сегодняшний день остаются неизученными процессы, происходящие во время коммутации БСК-110 кВ высокого напряжения 110 кВ. Отсутствует общепринятая математическая модель и визуальное представление отключения емкостной нагрузки высокого напряжения.

Использование математической модели и визуального представления позволяет получить необходимые параметры управляемой коммута-

ции высоковольтных выключателей с трехполюсным управлением одним приводом. Применение управляемой коммутации приводит к существенному уменьшению воздействия переходных процессов при коммутации БСК-110 кВ, увеличению срока службы электротехнического оборудования подстанции 110 кВ, уменьшению эксплуатационных затрат на ремонт выключателей и БСК 110 кВ.

Целью данной статьи является определение особенностей применения управляемой коммутации в цепях БСК-110 кВ, изучение возможности, параметров, требований механического разнеса высоковольтных выключателей 110 кВ и связанных с этим трудностей.

1. ЗАДАЧИ ДЛЯ УПРАВЛЯЕМОЙ КОММУТАЦИИ И ПАРАМЕТРЫ МЕХАНИЧЕСКОГО РАЗНОСА

Для различных присоединений и режимов можно выделить следующие варианты управляемой коммутации.

1.1. Управляемое включение

В этом режиме выполняется только операция включения в момент времени, соответствующий заданной фазе напряжения на системе шин 110 кВ.

Последовательность действий при выполнении операции управляемого включения для одного из полюсов высоковольтного выключателя показана на рис. 1. В данном рисунке и далее K_m – внешняя команда на выполнение управ-

ляемой коммутации; T_{ka} – расчетный момент подачи команды на исполнительные цепи выключателя; I_{ma} – условная длительность проведения расчетов; T_{sa} – собственное время включения полюса; Z_a – смещение момента коммутации от реперной точки; O – реперная точка; K – момент коммутации. Опорное напряжение фазы показано пунктиром, напряжение на отходящем присоединении (ненагруженная протяженная линия, БСК-110 кВ и т. д.) – сплошной линией [4].

1.2. Управляемое включение/отключение с учетом напряжения присоединения

Данный режим предназначен для случаев, когда на отходящем присоединении (ненагруженная протяженная линия, БСК-110 кВ) после отключения может продолжительное время сохраняться электрический заряд. Поэтому при последующей операции включения для минимизации переходных процессов необходимо помнить величину и знак напряжения на коммутируемом присоединении как с учетом саморазряда, так и без [4]. Работа в данном режиме для одного из полюсов высоковольтного выключателя показана на рис. 2.

1.3. Управляемое отключение

Операция управляемого отключения обеспечивает разъединение дугогасящих контактов полюса высоковольтного выключателя 110 кВ в момент времени, соответствующий заданной

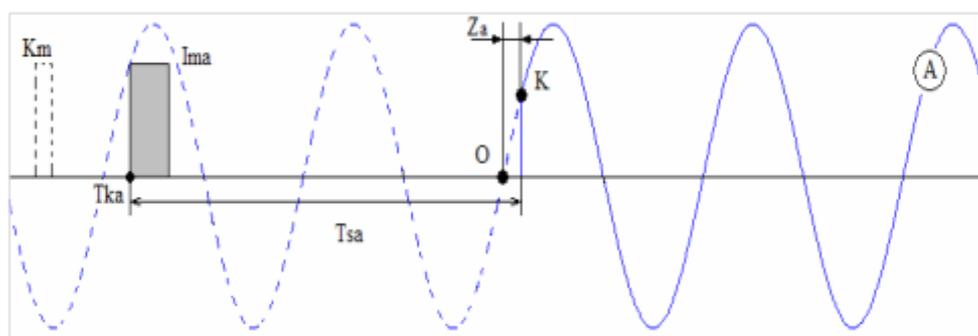


Рис. 1. Режим управляемого включения

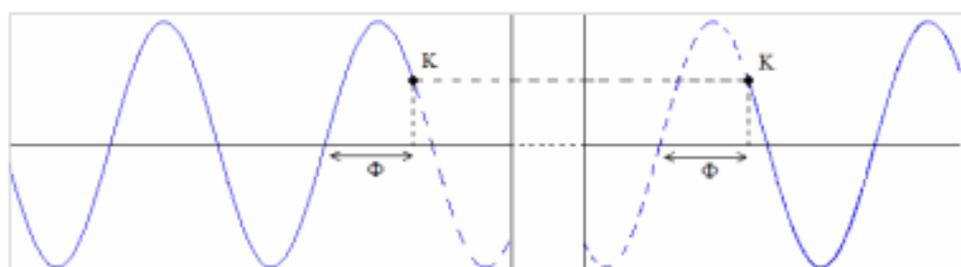


Рис. 2. Режим управляемого включения/отключения с учетом напряжения присоединения

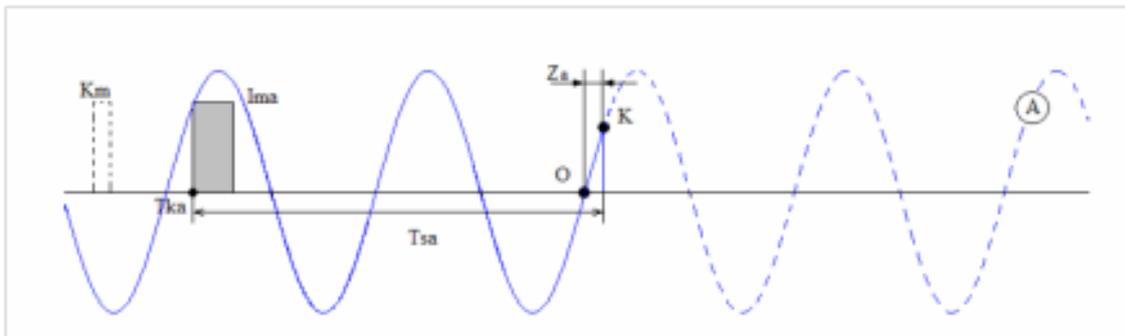


Рис. 3. Режим управляемого отключения

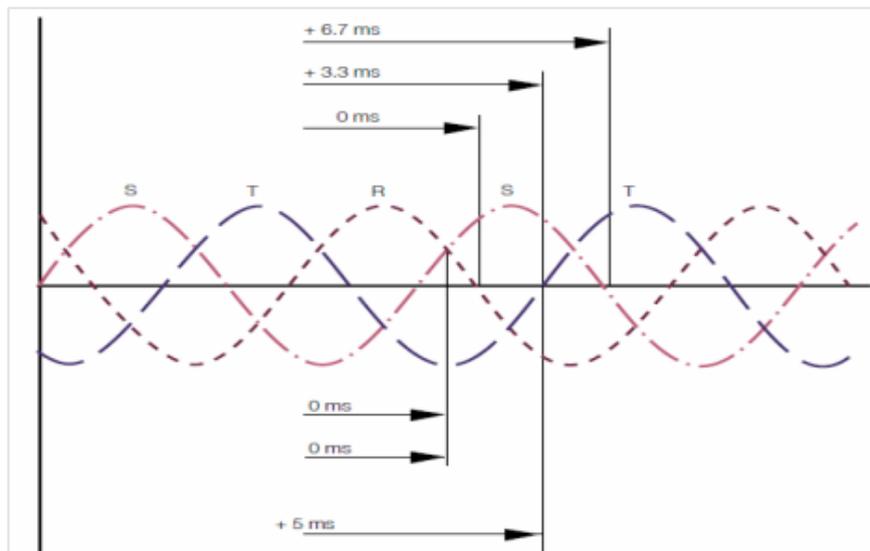


Рис. 4. Требуемое время разнеса момента коммутации фаз

фазе напряжения – фазе коммутации. Как правило, фазы коммутации для каждого полюса совпадают. На рис. 3 показана последовательность действий при выполнении операции управляемого отключения высоковольтного выключателя [4].

Для всех вышеприведенных режимов трехфазной системы напряжений частоты 50 и 60 Гц, можно провести следующие расчеты: (1), (2).

$$\Delta t_{50} = \frac{1}{360 \cdot f_{50}} \cdot 60 = 0.0033, \text{ с};$$

$$\Delta t_{60} = \frac{1}{360 \cdot f_{60}} \cdot 60 = 0.0027; \text{ с},$$
(1)

где f_{50} – 50 Гц, f_{60} – 60 Гц, а 60 электрических градусов – промежуток между ближайшими переходами через ноль синусоидального напряжения.

Данное утверждение справедливо только для системы с глухозаземленной нейтралью. В случае системы с изолированной нейтралью необходимо одновременно произвести коммутацию двух фаз и после прекращения протекания

тока произвести коммутацию третьей фазы при переходе напряжения через ноль, что соответствует задержке в 90 электрических градусов, следовательно:

$$\Delta t_{50} = \frac{1}{360 \cdot f_{50}} \cdot 90 = 0.005, \text{ с};$$

$$\Delta t_{60} = \frac{1}{360 \cdot f_{60}} \cdot 90 = 0.00416, \text{ с}.$$
(2)

Таким образом, для конденсаторной батареи 110 кВ с заземленной нейтралью три полюса должны коммутироваться с разностью по времени в 1/6 периода (3,33 мс при 50 Гц или 2,8 мс при 60 Гц), первый полюс коммутируется при нулевом напряжении [1]. Для конденсаторной батареи 110 кВ с незаземленной нейтралью два полюса должны коммутироваться одновременно при нулевом значении напряжения, а последний — на 1/4 периода позже (5 мс при 50 Гц или 4,2 мс при 60 Гц), рис. 4.

Необходимо использовать синхронизаторы для управляемой коммутации и выключатели, имеющие стабильное время срабатывания, ко-

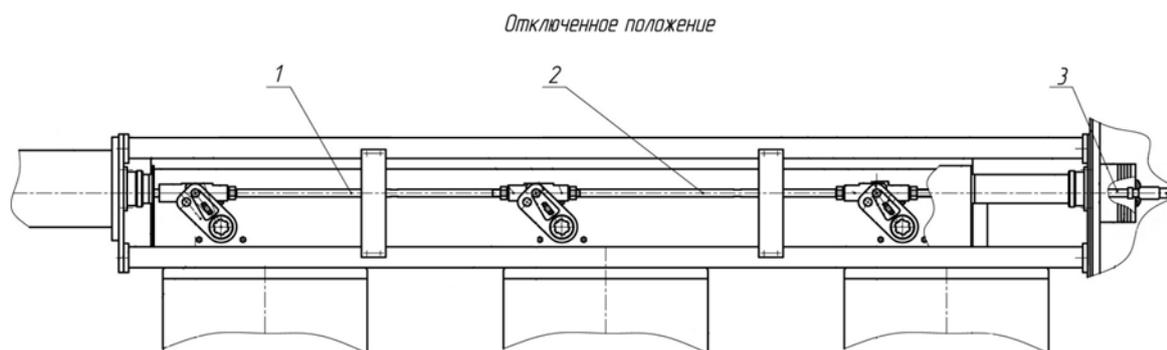


Рис. 5. Передаточное устройство высоковольтного выключателя 110 кВ: 1, 2, 3 – тяги

торое изменяется лишь в незначительной степени в зависимости от температуры окружающей среды и управляющего напряжения.

Механическое задание разновременности, или в дословном переводе с английского языка (mechanical staggering) – механический разнос, является индивидуальным процессом для каждого коммутационного аппарата, поэтому разработка универсальной методики механического разноса на основе данных математической модели и визуального представления является главной задачей дальнейших исследований.

2. МЕХАНИЧЕСКИЙ РАЗНОС

Проводя классификацию способов механического разноса выключателей 110 кВ, механизм которых подобен тому, что изображен на рис. 5 и 6, можно выделить три основных подхода:

- Дополнительная установка механического устройства временной задержки, представляющего собой два соосных цилиндра. Данное устройство устанавливается как промежуточный механизм между рычагом и шлицевым валом, обеспечивая требуемую задержку по времени при вращении рычага. Данный метод является дорогостоящим, а также снижающим надежность выключателя в целом за счет внедрения дополнительного промежуточного узла, который с течением времени не сможет обеспечить требуемую точность коммутаций.

- Изменение соотношения длин тяг в приводном механизме выключателя (рис. 5) соответствующего типа ВГТ-110, ВЭБ-110, ВПП-110, ВМТ-110, ЛТВ-145. При кажущейся простоте и очевидности решения при требуемой разновременности является невозможным. Все наружные рычаги (рис. 6, поз. 3) полюсов двигаются синхронно по дугам равных окружностей строго фиксированного радиуса [5, 6]. При этом соединительные тяги также движутся по

тем же окружностям, при изменении длины тяг с целью изменения угла между наружным и внутренним рычагом (рис. 6, поз. 4) произойдет нарушение параллельности движения наружных рычагов, что приведет к неработоспособности всей приводной системы, и значительно повысит сложность расчетов.

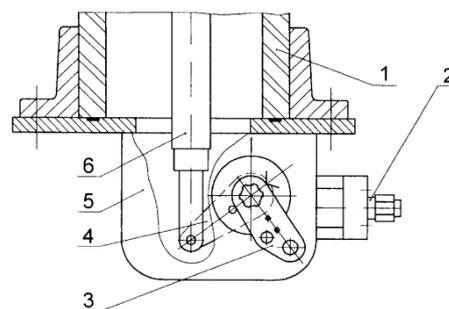


Рис. 6. Механизм управления полюсом высоковольтного выключателя 110 кВ: 1 – изолятор опорный; 2 – клапан; 3 – рычаг наружный; 4 – рычаг внутренний; 5 – корпус механизма; 6 – тяга

- Наиболее подходящим и просто реализуемым методом является изменение угла между внутренним и наружным рычагом высоковольтного выключателя. Изменение начального положения шлицевого вала обеспечивает новое начальное значение угла поворота, а следовательно, и механический разнос по времени срабатывания.

При данном подходе один полюс (предположительно центральный) выбирается в качестве базы и не подвергается регулированию. Для двух оставшихся полюсов производится операция регулировки, сводящаяся к изменению взаимного угла между рычагами за счет изменения начального положения внутреннего рычага по отношению к неизменному наружному рычагу [5, 6]. Изменяя нормальный угол в 37° к горизонтали внутреннего рычага (рис. 6) в сторону

увеличения или уменьшения, в зависимости от запаздывания или опережения относительного базового полюса, достигается требуемый механический разнос по времени, к примеру, как было рассчитано выше, для системы с глухозаземленной нейтралью частотой 50 Гц на 3,33 мс.

3. КИНЕМАТИЧЕСКАЯ СХЕМА ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОГО РАЗНОСА

Для математического расчета механического разноса выключателя 110 кВ была разработана типовая кинематическая схема, представленная на рис. 7, в отключенном положении выключателя.

При операции включения рычажная пара bca (рис. 7) проворачивается по часовой стрелке и тем самым приводит к сжатию пружины отключения. Следует отметить, что в реальности в большинстве выключателей 110 кВ звена $b-b1$ не существует, а требуемая прямолинейная траектория движения точки K осуществляется за счет изгиба тяги $b1-K$.

Взаимный угол между внутренним и наружным рычагами в исходном состоянии всех полюсов составляет 90° . При расчетах и моделировании механического разноса была поставлена задача в получении разницы во времени коммутации контактов 3,33 мс как на включение, так и на отключение.

4. РАСЧЕТ МЕХАНИЧЕСКОГО РАЗНОСА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЗАДАННОЙ РАЗНОВРЕМЕННОСТИ

При расчете первоначально была поставлена задача вычисления требуемого взаимного угла между наружным и внутренним рычагами в зависимости от требуемого временного разноса.

Таким образом, согласно рис. 7, первый, второй и третий полюс отсчитываются слева направо.

Вычисляем среднюю угловую скорость угольника ω :

$$\omega = \frac{R \cdot d\varphi}{dt}, \quad (3)$$

где $R = \pi/180$; dt – продолжительность включения, с; $d\varphi$ – угловое перемещение угольника, по умолчанию 73° .

Рассчитываем требуемое значение взаимного угла между рычагами второго полюса β_1 :

$$\beta_1 = \beta - \frac{\omega \cdot dt_1}{R}, \quad (4)$$

где β – исходный взаимный угол между рычагами первого полюса, равный 90° ; dt_1 – время запаздывания второго полюса относительно первого, с.

Рассчитываем требуемое значение взаимного угла между рычагами третьего полюса β_2 :

$$\beta_2 = \beta_1 - \frac{\omega \cdot dt_2}{R}, \quad (5)$$

где dt_2 – время запаздывания третьего полюса относительно второго, с.

Для требуемого времени разновременности между полюсами в 3,33 мс при включении продолжительностью 50 мс и повороте угольника на 73° взаимные углы составят: для второго полюса 85.138° , для третьего 80.276° .

Для требуемого времени разновременности между полюсами в 3,33 мс при отключении продолжительностью 20 мс и повороте угольника на 73° взаимные углы составят: для второго полюса 77.846° , для третьего 65.691° .

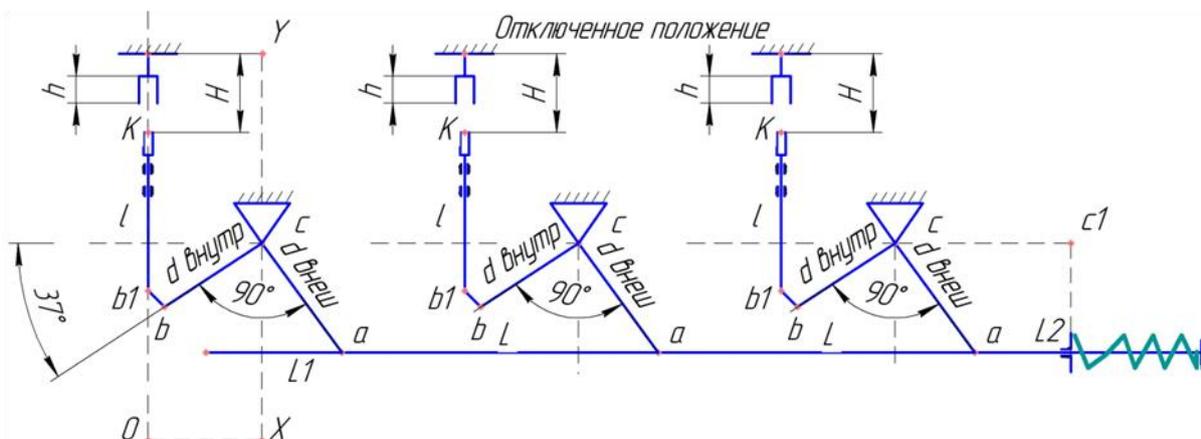


Рис. 7. Уточненная кинематическая схема привода высоковольтного выключателя 110 кВ в отключенном положении: $l = 1900$; $L = 700$; $L1 = 300$; $L2 = 750$; d внутр = 100; d внеш = 90; $H = 120$; $h = 45$; $S = 120$; $c-c = 700$; $O-X = 8$; $O1-X1 = 637$; $c-Y = 2530$; $C-C1 = 208$; $b-b1 = 25$

Таким образом, одновременная реализация идеального режима управляемого включения и отключения при механическом разное на приводах, подобных рис. 5, является невозможным.

Кроме того, данное утверждение является справедливым и для всех приводных механизмов, чье время включения и отключения является разным. Кроме того, реализация коммутации с учетом остаточного напряжения присоединения является также неосуществимой по причине изменчивости требуемой разновременности.

Реализация полученных значений взаимного угла с точностью до миллисекунд также является практически неосуществимой из-за отсутствия возможности точной регулировки.

Таким образом, далее следует рассмотреть реализацию одного из требуемых режимов.

5. РАСЧЕТ МЕХАНИЧЕСКОГО РАЗНОСА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВЗАИМНОГО УГЛА

При вводе взаимного угла для каждого из трех полюсов, к примеру, 85°, 90°, 95°, необходимо в первую очередь для простоты расчетов определить последовательность срабатывания полюсов. Исходя из расчетов, приведенных выше, можно сделать вывод, что первым будет срабатывать полюс с наибольшим значением, а последним – с наименьшим углом.

Первоначально необходимо рассчитать значение угловой скорости рычажной пары при включении – ω_V и при отключении – ω_O по формуле (3).

Вычисляем параметры по последнему сработавшему полюсу, то есть по тому, чей взаимный угол наименьший, введем обозначение наименьшего взаимного угла β_C .

Рассчитаем угловое перемещение внутреннего рычага над горизонталью точки С (рис. 7):

$$\varphi = 180 - \varphi_N - d\varphi - \beta_C, \quad (6)$$

где φ_N – начальная угловая координата, по умолчанию 53°.

Определим время движение данного полюса:

$$t_S = \frac{(\varphi - (180 - (\varphi_N + \omega_C)))}{\omega_V} \cdot R. \quad (7)$$

Переведем угловое перемещение внутреннего рычага над горизонталью точки С в радианы:

$$\varphi_R = \varphi \cdot R. \quad (8)$$

Рассчитаем вертикальное перемещение конца внутреннего рычага над горизонталью точки С:

$$S_y = \sin(\varphi_R). \quad (9)$$

Вычислим горизонтальное перемещение конца внутреннего рычага от вертикали точки С

$$S_x = \cos(\varphi_R). \quad (10)$$

Произведем расчет значения синуса угла ψ между шатуном и вертикалью движения штока:

$$\sin(\psi) = \frac{(e - d \cdot S_x)}{L}, \quad (11)$$

где e – смещение линии движения штока о-х, d – длина внутреннего рычага b-с, L – длина шатуна штока b-b1.

Далее через тригонометрические функции вычислим значения угла ψ и его косинуса:

$$\psi = \arcsin\left(\frac{e - d \cdot S_x}{L}\right). \quad (12)$$

Таким образом, получается функция значения ординаты нижнего конца штока:

$$y = -d \cdot S_y + L \cdot \cos(\psi). \quad (13)$$

Далее для вычисления значения скорости и ускорения конца штока возьмем первую и вторую производную соответственно.

Для скорости:

$$Y_V = d \cdot \omega_V \cdot S_x - L \cdot \psi' \cdot \sin(\psi), \quad (14)$$

где ψ' производная ψ :

$$\psi' = \frac{-\omega_V \cdot d \cdot S_y}{L \cdot \cos(\psi)}. \quad (15)$$

Для ускорения:

$$Y_a = d \cdot S_y \cdot \omega_V^2 - L \cdot (\psi'^2 \cdot \cos(\psi) + \psi'' \cdot \sin(\psi)), \quad (16)$$

где ψ'' – вторая производная ψ :

$$\psi'' = \frac{\frac{d \cdot S_x \cdot \omega_V^2}{L} + \psi'^2 \cdot \sin(\psi)}{\cos(\psi)}. \quad (17)$$

Таким образом, проделанные расчеты позволяют получить значения времени, скорости, ускорения, перемещения в заданный момент времени и угла поворота угольника для каждого полюса, что в свою очередь позволяет оценить разновременность и другие важные параметры

кинематики высоковольтного выключателя. Кинематические расчеты процесса отключения с математической точки зрения (формулы (6)–(17)) не отличаются от процесса включения.

Результаты расчета наиболее важных участков движения (начало, конец, замыкание, вжим), сформированные с помощью разработанной компьютерной программы, приведены в табл. 1 и 2.

По полученным данным можно однозначно говорить о возможности механического разнеса высоковольтного выключателя с подобным приводным механизмом (рис. 5), при этом необходимо проверить несколько ограничений:

А) Разновременность замыкания полюсов по времени в момент электрического контакта каждого из них. Для полученных результатов, моментом включения является положение 0,045 м или 80 см от начала движения при включении и 40 см при отключении, а разновременность составит 3,42 мс между всеми полюсами, что является удовлетворительным результатом.

Б) Вжим контактов при операциях коммутации. Вследствие некоторых конструктивных особенностей выключателя 110 кВ величина хода в контактах может быть ограничена, так, для рассмотренного случая нормальным является вжим в 30–40 мм. По полученным расчетам вжим контактов первого, второго и третьего полюса составляет 31 мм, 39 мм и 44 мм соответственно, следовательно, по третьему полюсу значение является недопустимым.

В) Допустимые крайние положения контактной системы, определяемые конструктивными особенностями полюса высоковольтного выключателя. Существуют ограничения на возможное перемещение контактов, так, для данного примера можно говорить об отметке в –0,05 м и 0,105 м, как следует из расчетов, движение происходит в указанных диапазонах, что является удовлетворительным.

Г) Максимальные значения скоростей и ускорения при коммутациях. Для рассматриваемого примера допустимой является скорость в 5,5 и 3 м/с при отключении и включении соответственно. Согласно расчетам при выполнении механического разнеса полученные значения составляют допустимые 4,8 и 2,9 м/с.

Проанализировав данные, полученные с помощью предложенного алгоритма и на основе допустимых характеристик высоковольтного выключателя 110 Кв, можно рассчитать необходимые значения механического разнеса, которые в представленном случае составят 86°, 90°, 94° взаимного угла трех полюсов.

6. ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Рынок в целом, а в особенности российский, является ненасыщенным подобными программно-техническими комплексами на основе управляемой коммутации, что существенно упрощает коммерциализацию данного научно-технического решения.

Таблица 1

Характерные точки процесса включения

Угол	t, c	Первый полюс			Второй полюс			Третий полюс		
		y, m	$y_v, m/c$	$y_a, m/c^2$	y, m	$y_v, m/c$	$y_a, m/c^2$	y, m	$y_v, m/c$	$y_a, m/c^2$
53°	0,00000	-0.043	2.525	-115.468	-0.035	2.229	-63.815	-0.028	2.063	-35.115
99°	0,03151	0.026	2.703	50.879	0.035	2.841	28.370	0.045	2.890	0.200
104°	0,03493	0.035	2.841	28.370	0.045	2.890	0.200	0.055	2.842	-28.621
109°	0,03836	0.045	2.890	0.200	0.055	2.842	-28.621	0.064	2.695	-56.698
122°	0,04726	0.070	2.562	-73.617	0.078	2.259	-103.933	0.085	1.841	-141.969
126°	0,050	0.076	2.328	-97.494	0.084	1.935	-133.282	0.089	1.395	-187.003

Таблица 2

Характерные точки процесса отключения

Угол	t, c	Первый полюс			Второй полюс			Третий полюс		
		y, m	$y_v, m/c$	$y_a, m/c^2$	y, m	$y_v, m/c$	$y_a, m/c^2$	y, m	$y_v, m/c$	$y_a, m/c^2$
126°	0.0000	0.076	-3.879	-270.816	0.084	-3.226	-370.227	0.089	-2.325	-519.454
122°	0.00164	0.070	-4.269	-204.490	0.078	-3.765	-288.702	0.085	-3.069	-394.359
109°	0.00699	0.045	-4.817	0.557	0.055	-4.736	-79.503	0.064	-4.492	-157.496
104°	0.00904	0.035	-4.735	78.804	0.045	-4.817	0.557	0.055	-4.736	-79.503
99°	0.0111	0.026	-4.504	141.331	0.035	-4.735	78.804	0.045	-4.817	0.557
53°	0.0300	-0.043	-4.209	-320.745	-0.035	-3.715	-177.264	-0.028	-3.439	-97.542

Таблица 3

Измерения временных и скоростных характеристик выключателя в цепи БСК-110 кВ на ПС «СибПП» при помощи прибора контроля высоковольтных выключателей типа ПКВ-5М

Фаза	Время, мс		Ход, мм		Вжим, мм		Скорость, м/с		Разн. хода, мм	
	Вкл	Откл	Вкл	Откл	Вкл	Откл	Вкл	Откл	Вкл	Откл
А	35,53	24,39	444,73	118,95	114,55	114,55	22,636	13,486	А-В 24,11	-20,28
В	34,41	25,81	420,62	139,23	138,66	138,66	23,545	18,035	В-С 27,01	-28,91
С	33,07	27,23	393,61	168,14	165,67	165,67	23,304	21,836	С-А-51,12	49,19

Стоимость с применением пополюсного управления с тремя приводами значительно превышает (в 1,5–2 раза) стоимость при использовании выключателя с трехполюсным управлением одним приводом, связано это с уникальностью высоковольтных выключателей 110 кВ с пополюсным управлением, которые не являются серийным изделием и содержат в себе три привода. Эта особенность использования менее дорогих обычных выключателей совместно с услугой механического разнеса и является главным конкурентным преимуществом, так как уменьшаются затраты на оборудование, на обслуживание и, естественно, допускается возможность модернизации уже установленных современных надежных выключателей без изменения строительной части и дополнительных капитальных затрат.

7. ОПЫТНОЕ ПОДТВЕРЖДЕНИЕ И ИСПЫТАНИЯ

После механического разнеса установленного выключателя типа ЛТВ-145 на ПС «СибПП» ООО «Башкирэнерго» и последующего измерения временных и скоростных характеристик, были получены неизменные следующие экспериментальные данные (табл. 3), полностью подтверждающие проделанные расчеты, обеспечивающие требуемый режим работы с разновременностью в 1,12, 1,34 мс, что было определено механическими ограничениями конкретного привода выключателя [7].

ВЫВОДЫ

1. При всем многообразии выключателей и продолжительном времени применения управляемой коммутации отсутствуют научные методики по механическому разнесу высоковольтных выключателей и программы испытаний в эксплуатации подобных модификаций [8].

2. Таким образом, необходимо создание программно-методического продукта, который за счет ввода в него данных предоставит тре-

буемые параметры и методику механического разнеса.

3. При всей простоте идеи механического разнеса данный метод не обеспечивает одновременного выполнения режимов управляемого включения и отключения, а лишь только один из выбранных режимов – это обусловлено различием временных и скоростных характеристик при включении и отключении, к примеру, включение 50 мс, а отключение 30 мс.

4. Таким образом, в случае механического разнеса следует говорить о необходимости выбора режима управляемого включения в цепи БСК-110 кВ для элегазовых выключателей, а для масляных и воздушных выключателей – режима управляемого отключения, так как вероятность повторных пробоев в элегазовых выключателях сведена к минимуму, а для ограничения пусковых токов решение синхронной коммутации подходит идеально. При наличии в схеме токоограничивающих реакторов выполнять управляемую коммутацию следует в режиме отключения [1, 3, 7].

5. Проблемы, которые стоят перед реализацией механического разнеса на основе изменения соотношения взаимного угла внутреннего и внешнего рычага, заключаются в изготовлении нового внешнего рычага для каждого полюса в зависимости от выбранного режима. Шаг изменения фиксированного значения взаимного угла в большинстве выключателей составляет 30°, тогда как, согласно расчетам, требуется шаг до 1° в диапазоне от 5–10°.

6. При выполнении механического разнеса необходимо учитывать определенные в данной статье важные параметры: разновременность и вжим контактов, допустимые перемещения, допустимые скорости.

7. Разработана классификация и методика расчета механического разнеса, так как в ходе исследований в отечественной и зарубежной литературе, а также интернете практической информации не обнаружено.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Document** ID 1HSM 9543 22-01en, Controlled Switching. Buyerr's & Application Guide, Edition 3.1, 2010-04. [Document ID 1HSM 9543 22-01en, Controlled Switching. Buyerr's & Application Guide, Edition 3.1, 2010-04.]
2. **Национальный стандарт** РФ ГОСТ Р 52565-2006 "Выключатели переменного тока на напряжения от 3 до 750 кВ. Общие технические условия". [National standard of Russian Federation GOST R 52565-2006 "Alternating-current circuit-breakers for voltages from 3 to 750 kV. General specification"]
3. **Hermosillo V. F.** Controlled switching circuit breaker considerations // ALSTOM T&D Seminar. Workshop on Controlled Switching CIGRE WG A3.07 IEEE/PES Switchgear Committee Meeting. St. Pete Beach, Florida, May 2003. [Victor F. Hermosillo, "Controlled switching circuit breaker considerations," ALSTOM T&D Seminar. Workshop on Controlled Switching CIGRE WG A3.07 IEEE/PES Switchgear Committee Meeting, St. Pete Beach, Florida, May 2003.]
4. **Комплексная** система диагностики выключателей с системой синхронного управления выключателем. Руководство по эксплуатации. ОБП.140.240 РЭ. [Complex diagnostics system of circuit breakers with a system of simultaneous control switch. User's guide. ОБП.140.240 РЕ]
5. **Привод** пружинный типа ППрК. Руководство по эксплуатации ОБП.466.219 РЭ. [Spring motor type PPrK. User's guide. ОБП.466.219 РЕ]
6. **Выключатель** элегазовый баковый типа ВЭБ-110. Руководство по эксплуатации 2БП.029.007 РЭ. [Sulfur hexafluoride dead tank circuit breaker type VEB-110. User's guide. 2BP.029.007 РЕ]
7. **Выключатель** элегазовый типа LTB145D1/В. Руководство по эксплуатации ВЛК 222 РЭ 3414-007Ltb145-40108210-2007. [Sulfur hexafluoride live tank circuit breaker type LTB145D1/В. User's guide. ВЛК 222 РЕ 3414-007Ltb145-40108210-2007]
8. **High-voltage** switchgear and controlgear –Part 302: Alternating current circuit-breakers with intentionally non-simultaneous pole operation IEC/TR 62271-302. [High-voltage switchgear and controlgear –Part 302: Alternating current circuit-breakers with intentionally non-simultaneous pole operation IEC/TR 62271-302.]

ОБ АВТОРАХ

ТИХОНЧУК Дмитрий Александрович, асп. каф. электромеханики, вед. инж. отд. электротехн. оборудования. Дипл. инж. по электр. системам и сетям (УГАТУ, 2010).

METADATA

Title: Mechanical staggering of circuit breakers for switching battery static capacitors 110 kV.

Authors: D. A. Tikhonchuk

Affiliation: Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

Email: fchu@mail.ru.

Language: Russian.

Source: Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 18, no. 1 (62), pp. 64-72, 2014. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

Abstract: This article considers the main tasks of a controlled switching high-voltage circuit breakers of 110 kV. Ways are to achieve the time diversity of circuit breakers through the different options for the mechanical staggering. Presented and is designed algorithm of calculation of parameters of mechanical separation (time diversity and mutual angle). Criteria have been defined the possibility of realization of mechanical staggering of high-voltage circuit breaker. Conclusions about expediency and an opportunity of application of the scientific-technical solution are formed.

Key words: Controlled switching, the algorithm of calculation of parameters of mechanical separation, time diversity, mechanical staggering, the high-voltage circuit breaker, battery static capacitors.

About author:

ТИХОНЧУК, Dmitriy Aleksandrovich, Postgrad. (PhD) Student, Dept. of electro technical equipment. Engineer of Electrical system and grids (UGATU, 2010).