

Электрические и электронные аппараты

Лекция № 4

Работа контактных систем в условиях короткого замыкания.

Кинематика движения контактов.

Износ контактов при размыкании.

Износ контактов при замыкании.

Материалы контактов коммутационных аппаратов.

Работа контактных систем в условиях короткого замыкания

При коротких замыканиях возникает опасность сваривания контактов при нахождении их в замкнутом положении (при сквозном токе КЗ) и тем более в момент замыкания (включение на КЗ).

При КЗ происходит резкое увеличение переходного сопротивления контакта из-за ослабления контактного нажатия, вызываемого ЭДУ.

Тепловая энергия, выделяемая в месте контакта, пропорциональна квадрату тока КЗ. Это может вызвать расплавление и сваривание контакта.

Чаще всего сваривание контактов происходит за счет электродинамического отброса, когда ЭДУ, вызванные током КЗ, равны контактному нажатию или превосходят его.

Работа контактных систем в условиях короткого замыкания

При расчетах электродинамической стойкости контактов можно использовать выражение:

$$i_{уд} \leq K \sqrt{F_{кн}} \quad (4.1)$$

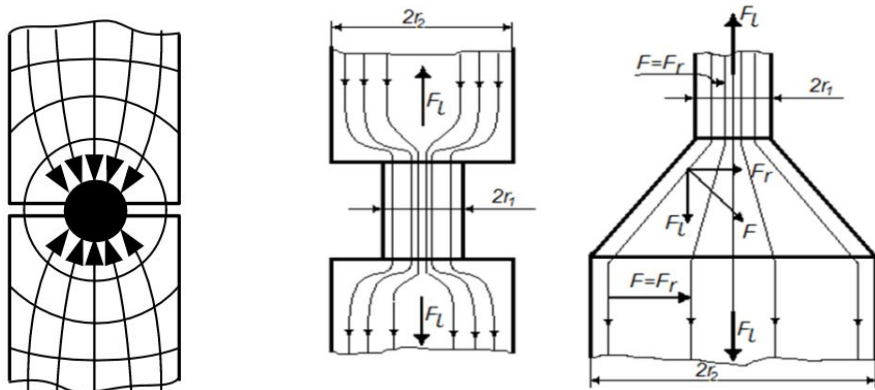
где K – эмпирический коэффициент, зависящий от типа контакта и материала поверхностей взаимодействующих контакт деталей, $A/H^{0,5}$.

Выражение (4.1) позволяет определить минимальный ток сваривания контактов при известном контактном нажатии, либо требуемое минимальное нажатие при известном максимальном значении ударного тока в цепи установки КА.

Работа контактных систем в условиях короткого замыкания

При включении на короткое замыкание вероятность сваривания контактов возрастает как за счет возможного дребезга, так и за счет меньшего контактного нажатия.

Контакт может быть представлен как проводник переменного сечения. В месте сужения линий тока возникают продольные ЭДУ, стремящиеся разомкнуть контакт.



$$F = I^2 \ln \frac{S_2}{S_1} \cdot 10^{-7}$$

Работа контактных систем в условиях короткого замыкания

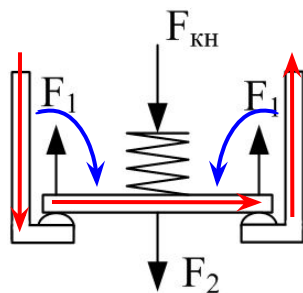
В аппаратах на большие токи, стремятся так выполнить контактную систему, чтобы компенсировать или ослабить действие ЭДУ.

Работа контактных систем в условиях короткого замыкания

В схеме мостикового контакта (см. рис. 4.1, а) при протекании тока в местах контакта возникают отталкивающие усилия F_1 .

Вместе с тем на сам подвижный контакт помимо контактного нажатия $F_{кн}$ оказывает влияние ЭДУ F_2 , возникающее от его взаимодействия с вертикальными элементами контактной системы.

Его направление противоположно F_1 и совпадает с $F_{кн}$.



а

Рисунок 4.1 – Примеры электродинамической компенсации ЭДУ при КЗ

Работа контактных систем в условиях короткого замыкания

В контактной системе, показанной на рисунке 4.1, б электродинамическая сила F_2 практически отсутствует.

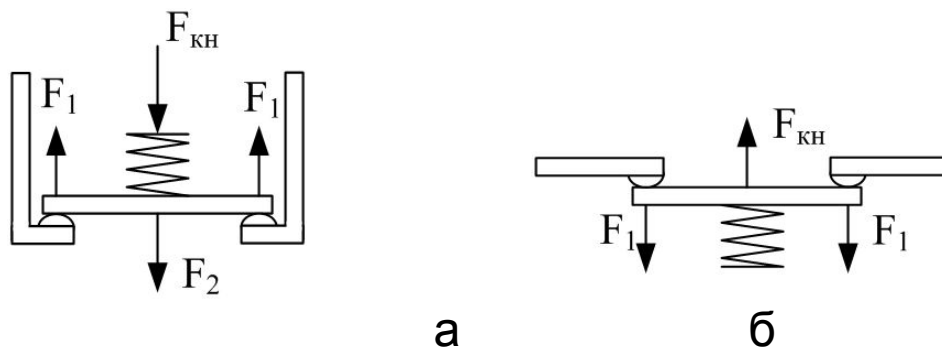


Рисунок 4.1 – Примеры электродинамической компенсации ЭДУ при КЗ

Работа контактных систем в условиях короткого замыкания

В схеме, показанной на рисунке 4.1, в сила F_2 складывается с усилиями F_1 . Эта система является самой неустойчивой.

Т. о. правильным подбором соотношения длин вертикальных и горизонтальных элементов можно добиться частичной либо полной компенсации возникающих отбрасывающих усилий

Помимо электродинамических компенсаторов существуют и электромагнитные, в которых используется сила магнитного поля, создаваемого специальными электромагнитами.

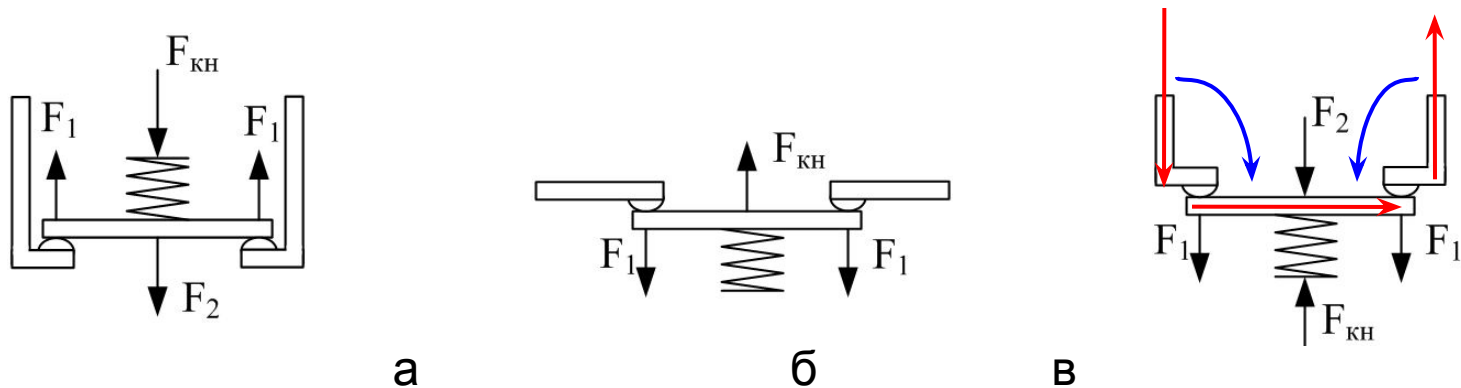


Рисунок 4.1 – Примеры электродинамической компенсации ЭДУ при КЗ

Работа контактных систем в условиях короткого замыкания

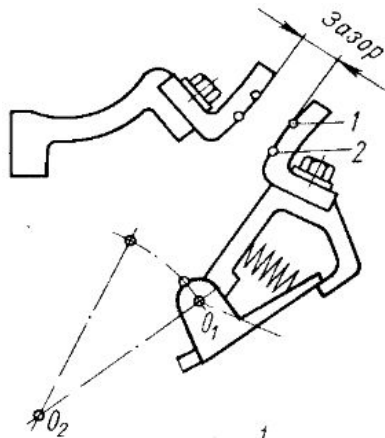
На практике для предотвращения сваривания контактов применяются конструктивные меры:

- 1) повышение контактного нажатия;
- 2) снижение вибрации (дребезга) контактов при включении;
- 3) компенсация ЭДУ отброса;
- 4) использование соответствующей формы контактирующих поверхностей;
- 5) подбор разнородных контактных материалов.

Кинематика движения контактов

Зазор – кратчайшее расстояние между разомкнутыми рабочими поверхностями подвижной и неподвижной контакт-деталей (см. рис. 4.2, а)

Зазор выбирается исходя из условия разрыва (гашения) малых ТОКОВ.



а

б

в

Рисунок 4.2 – Кинематика движения контактов при замыкании

Кинематика движения контактов

После соприкосновения рабочих поверхностей подвижный контакт останавливается. Это соответствует предвключенному состоянию КА (см. рис. 4.2, б).

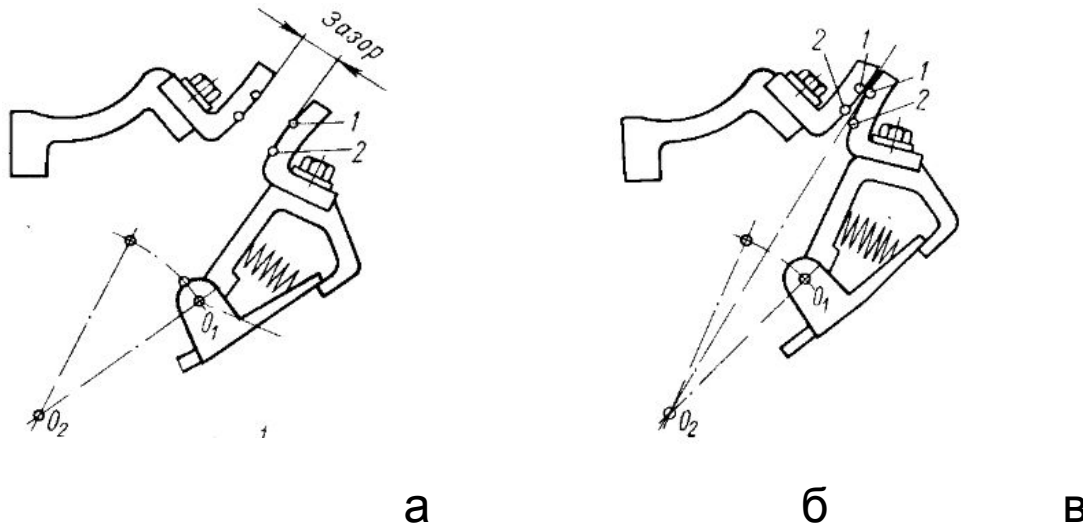


Рисунок 4.2 – Кинематика движения контактов при замыкании

Кинематика движения контактов

После этого подвижная система продвигается еще вперед до упора, сжимая при этом контактную пружину (см. рису. 4.2, в).

Если в замкнутом состоянии убрать неподвижный контакт, то подвижный контакт сместится на некоторое расстояние, называемое *провалом*.

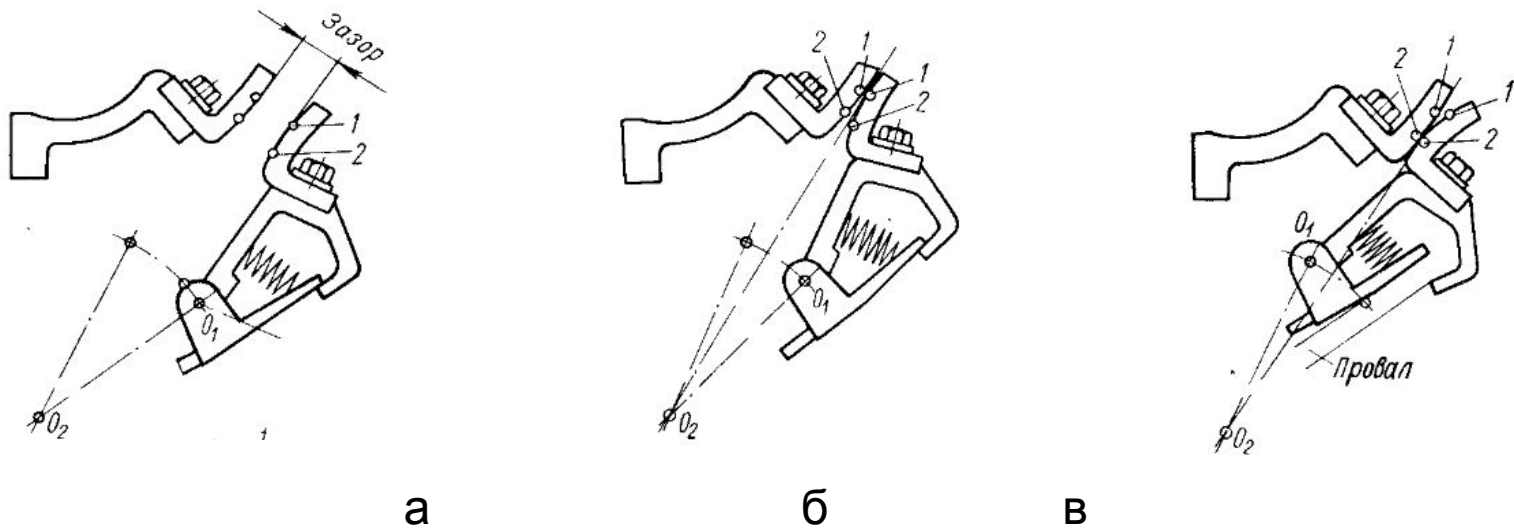


Рисунок 4.2 – Кинематика движения контактов при замыкании

Кинематика движения контактов

Провал определяет запас на износ контактов при заданном числе срабатываний.

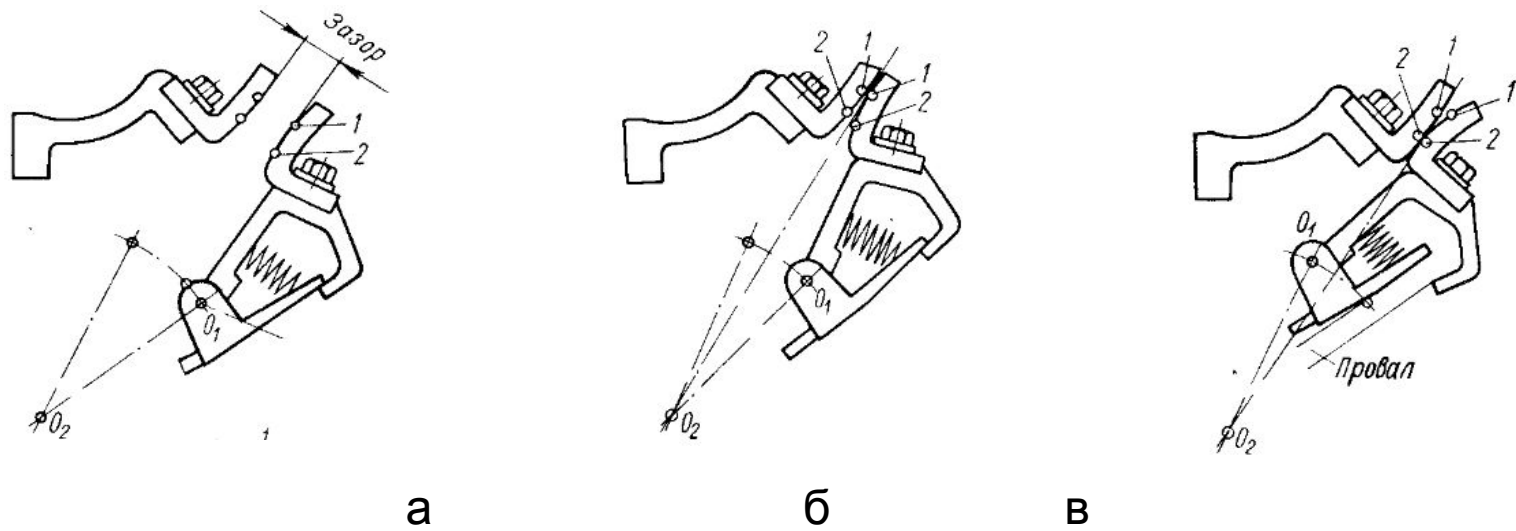


Рисунок 4.2 – Кинематика движения контактов при замыкании

Кинематика движения контактов

Контактное нажатие – сила, сжимающая контакты в месте их соприкосновения.

Различают начальное нажатие P_0 в момент замыкания контакт-деталей, когда провал равен нулю, и конечное нажатие P_k , при полном провале:

$$\left. \begin{aligned} P_0 &= c\Delta L_1; \\ P_k &= P_0 + c\Delta L_2, \end{aligned} \right| \quad (4.2)$$

где c – жесткость контактной пружины (значение силы в ньютонах, необходимое для сжатия пружины на 1 см);

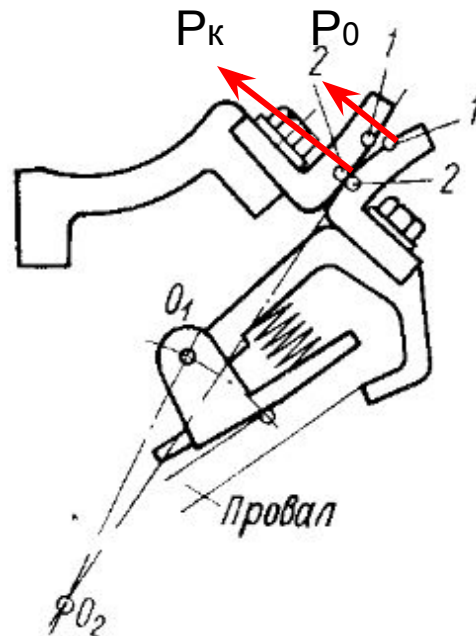
ΔL_1 – первоначальное сжатие пружины;

ΔL_2 – дополнительное сжатие пружины при выборе провала.

Кинематика движения контактов

По мере износа контактов уменьшается провал, а, следовательно, и дополнительное нажатие пружины (конечное нажатие приближается к начальному).

Начальное нажатие является одним из основных параметров, при котором контакт должен сохранять работоспособность.



Износ контактов при размыкании

Износ контактов – разрушение рабочих поверхностей контакт-деталей, приводящее к изменению их формы, размера, массы и к уменьшению провала.

Различают два основных вида износа:

1) *механический износ* – износ под действием внешних сил, обусловленный конструкцией и кинематикой КС, а также свойствами материала контактных поверхностей;

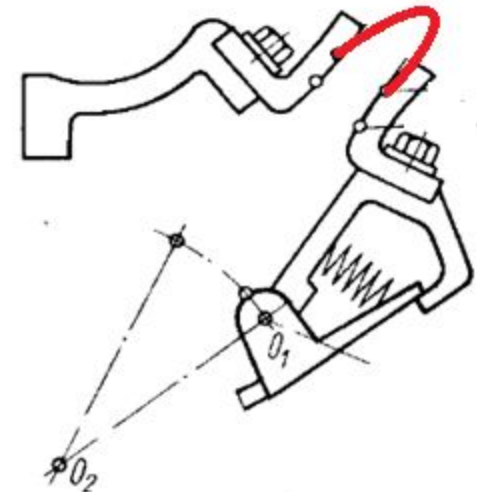
2) *коммутационный износ (электрическая эрозия)* – износ, происходящий под действием электрических факторов.

Износ контактов при размыкании

При размыкании сила, сжимающая контакты, снижается до нуля, переходное сопротивление контакта и плотность тока в последней площадке контактирования возрастают.

В промежутке между контактами возникают различные формы электрического разряда.

При токе 0,5 А и напряжении 15 В между медными контактами возникает дуговой разряд. Если ток меньше минимально необходимого, а напряжение выше напряжения зажигания дуги, то возникает искровой разряд.



Износ контактов при размыкании

Износ при малых токах заключается в эрозии контактов за счет разрыва жидкого контактного перешейка вблизи одного из электродов (как правило у анода). Поэтому износу подвергается один из контактов.

Снижение эрозии достигается за счет применения эрозионно-устойчивых материалов.

Износ контактов при размыкании

Износ при больших токах зависит от действия многих переменных факторов.

Зависимость от числа размыканий. Износ прямо пропорционален числу размыканий. Если при одном размыкании износ равен C , то за n размыканий он будет равен:

$$\sigma = Cn \quad (4.3)$$

Зависимость износа от напряжения. При наличии внешнего магнитного поля гашения дуга покидает щель между контактами уже при расхождении на 1 – 2 см, поэтому износ практически не зависит от напряжения сети.

Износ контактов при размыкании

Зависимость от напряженности магнитного поля H показана на рисунке 4.3.

С ростом H растет скорость движения опорных точек дуги, контакты меньше нагреваются и оплавляются.

Это свойство используется на практике в виде интенсивного магнитного дутья.

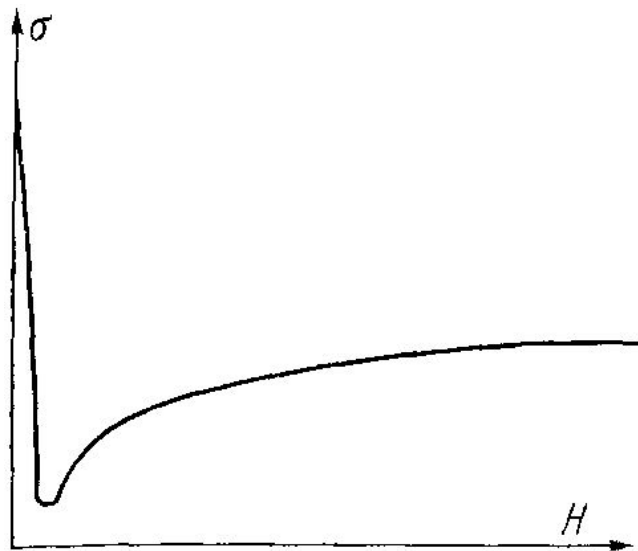


Рисунок 4.3 – Зависимость износа от напряженности магнитного поля

Износ контактов при размыкании

Зависимость износа от тока линейная.

От ширины контакта износ зависит обратно пропорционально.

Зависимость износа от скорости расхождения контактов. В современных аппаратах, где используется дутье, скорость расхождения контактов практического влияния на износ не оказывает.

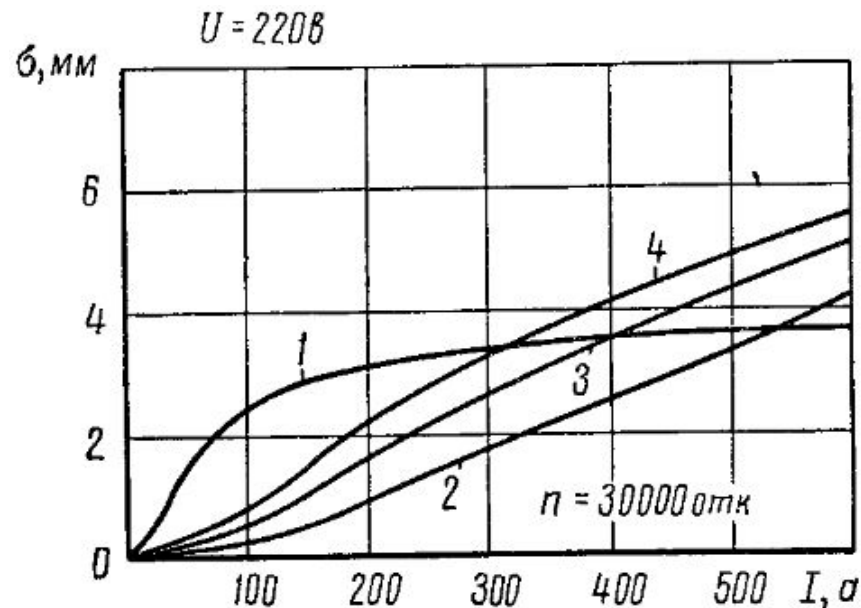


Рисунок 4.4 – Зависимость износа от тока в дуге

Износ контактов при замыкании

В процессе замыкания расстояние между контактами постепенно уменьшается.

При определенном расстоянии между ними происходит пробой промежутка, возникает дуга, которая гаснет при замыкании контактов.

При замыкании происходит коммутационный износ, вызываемый явлением *дребезга (вибрации) контактов*. В ряде случаев он превосходит износ при размыкании.

При соударении происходит упругая деформация материала обоих контактов, что приводит к отбросу подвижной контакт-детали на некоторое расстояние.

Под действием контактной пружины происходит повторное замыкание контактов.

Износ контактов при замыкании

Если $x_k > x_d$, то происходит разрыв. Такой дребезг называется *опасным*. Если $x_k < x_d$, то разрыва нет. Такой дребезг называется *неопасным*.

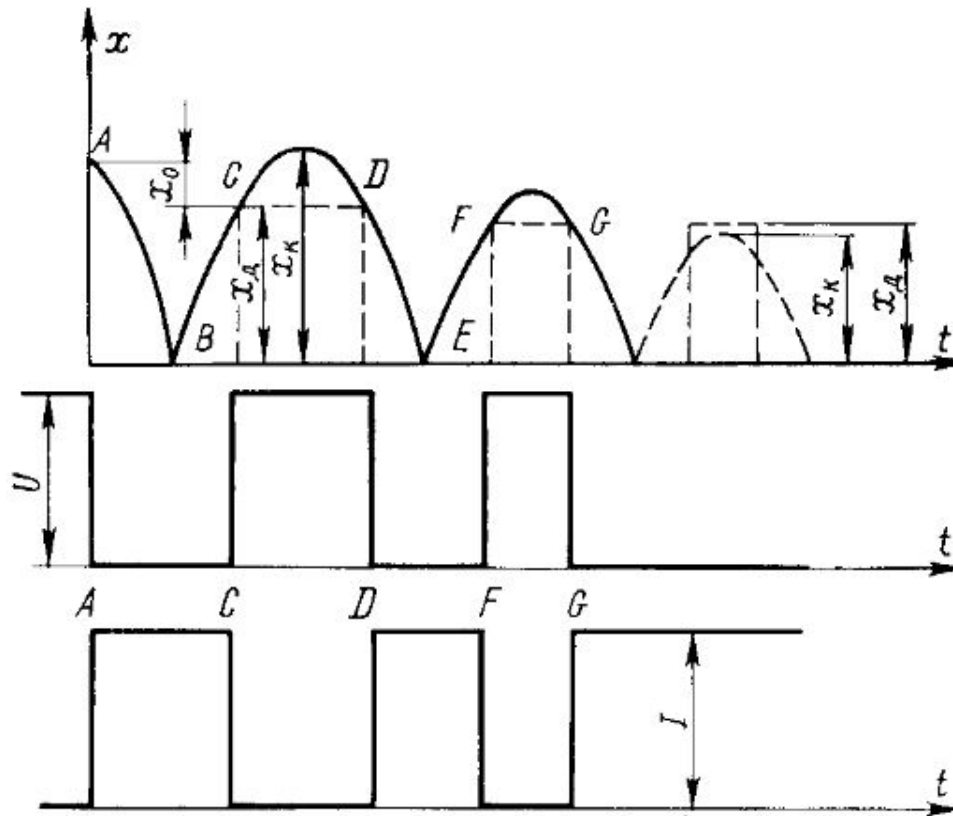


Рисунок 4.5 – Дребезг контактов при замыкании

Износ контактов при замыкании

Интенсивность вибрации характеризуется максимальным отбросом контактов $x_{отб}$ при соударении и суммарным временем вибрации t_{Σ} , которые можно приблизительно определить по выражениям:

$$\left. \begin{aligned} x_{отб} &= \frac{m_K v_K^2}{2F_0}, \\ t_{\Sigma} &= \frac{m_K v_K}{F_0}, \end{aligned} \right| \quad (4.4)$$

где m_K, v_K – соответственно масса и скорость движущихся частей контактной системы;

F_0 – начальное контактное нажатие.

Износ контактов при замыкании

$x_{отб}$ и t_{Σ} тем больше, чем больше масса и скорость подвижных частей и чем меньше F_0 .

Для снижения дребезга необходимо снижать m_k и v_k и увеличивать контактное нажатие.

Время вибрации не должно превосходить 0,5 – 1 мс.

Материалы контактов КА

К материалам контактов предъявляют следующие требования:

- 1) высокая электрическая проводимость и теплопроводность;
- 2) устойчивость против коррозии и наличие проводящей оксидной пленки;
- 3) высокая дугостойкость (высокая температура плавления и испарения);
- 4) твердость и механическая прочность;
- 5) низкая стоимость.

Материалы контактов КА

Медь. Удовлетворяет всем перечисленным требованиям за исключением коррозионной стойкости.

Применяется при нажатиях свыше 3 Н для всех режимов, кроме продолжительного, так как склонна к окислению.

Медь может использоваться для дугогасительных контактов.

Серебро. Удовлетворяет всем требованиям кроме дугостойкости при больших токах. Оксиды серебра обладают хорошей проводимостью.

Используется для главных контактов в аппаратах на большие токи, а также для всех контактов продолжительного режима.

Материалы контактов КА

Алюминий. Используется только в разборных контактных соединениях. При этом контакты серебрятся или меднятся. Для коммутирующих контактов он не пригоден.

Платина, золото, молибден. Применяются в слаботочных КА при малых контактных нажатиях. Платина и золото не образуют оксидных пленок. Используются в виде сплавов с иридием для повышения износостойкости.

Вольфрам и его сплавы. Обладают высокой твердостью и электрической износостойкостью. При малых токах используются для контактов с большим числом отключений. При средних и больших токах отключения (до 100 кА) используется в качестве дугогасительных контактов.

Материалы контактов КА

Металлокерамика – механическая смесь двух не плавящихся металлов, получаемая методом спекания смеси их порошков или пропиткой одного расплавом другого.

При этом один металл имеет высокую дугостойкость и тугоплавкость, а другой – высокую механическую прочность.