Лекция 7. Реле переменного тока. Реле выдержки времени.

- 7.1. Реле переменного тока (ДСШ)
- 7.2. Реле выдержки времени

У индукционного реле тяговое усилие, перемещающее подвижную часть (алюминиевый сектор) и связанные с ней подвижные контактные пружины, возникает результате взаимодействия переменного магнитного потока одного электромагнита и токов, индуктируемых в алюминиевом секторе (откуда и название индукционные) переменным магнитным потоком другого электромагнита. Этим индукционные реле принципиально отличаются от электромагнитных реле, у которых тяговое усилие на подвижную часть (якорь) является результатом магнитного взаимодействия (притяжения) сердечника.

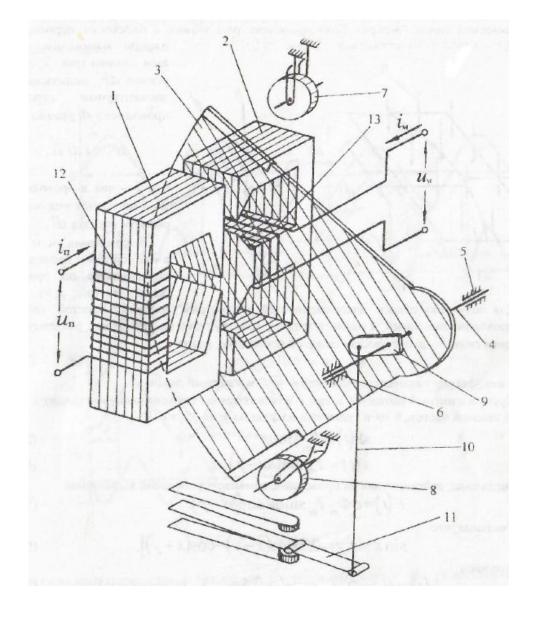


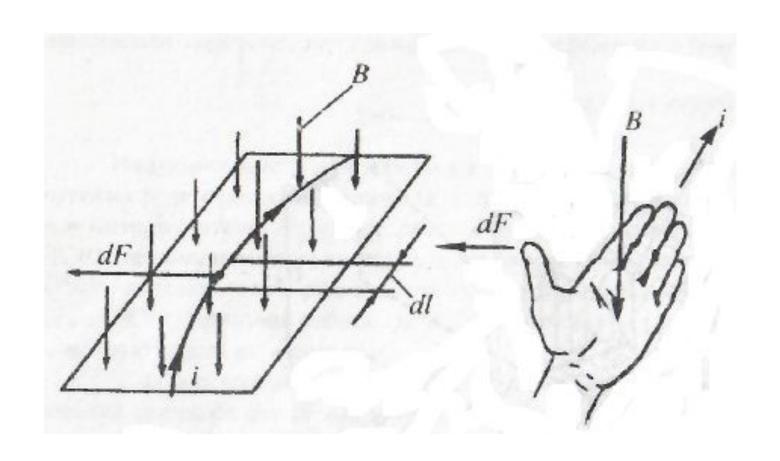
Рис. 7.1. Упрощенная конструкция реле типа ДСШ

На проводник с током, помещенный в магнитное поле, действует механическая сила (называемая силой Ампера). Если проводник расположен в плоскости, перпендикулярной магнитным силовым линиям (рис. 7.2, а), то усилие dF, испытываемое элементарным отрезком проводника dl, равно

(7.1)

где i — ток в проводнике, B — магнитная индукция в области отрезка dl.

Направление силы dF в каждой точке проводника определяется по правилу левой руки (рис. 7.2, б).



а) б) Рис. 7.2. Действие силы Ампера (а) и правило левой руки (б)

Для полученных общих закономерностей рассмотрим наиболее простой случай, когда проводник линейный, а магнитное поле, действующее на проводник, равномерное. Суммарная сила F, действующая на такой проводник, равна

(7.2)

где c — коэффициент пропорциональности, Φ — магнитный поток.

Пусть магнитный поток Φ и ток i изменяются по синусоидальному закону с одинаковой угловой частотой ω и сдвинуты по фазе на угол γ , т.е.

(7.3)

(7.4)

Тогда сила, действующая на проводник, изменяется согласно выражению

(7.5)

Учитывая*,* что из (7.5) получаем

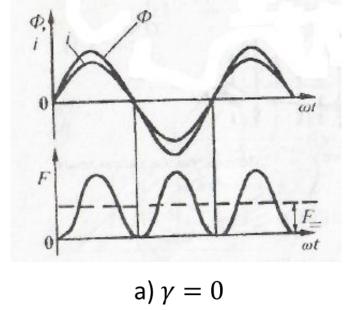
(7.7)

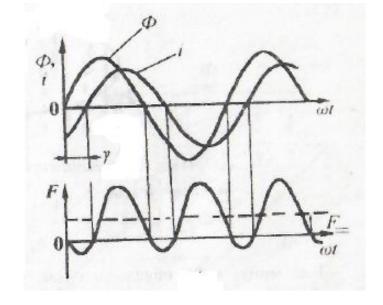
Из выражения (7.7) видно, что сила F(t) содержит постоянную составляющую

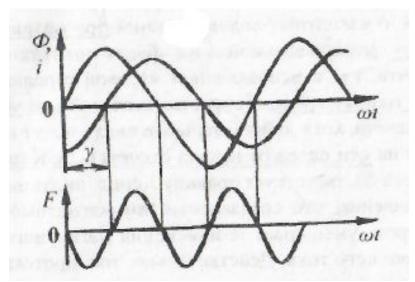
(7.8)

и переменную составляющую

изменяющуюся с двойной частотой.







б) $\gamma=\pi/4$

Переменный ток в алюминиевом секторе создается переменным магнитным потоком. Согласно закону электромагнитной индукции, при всяком изменении магнитного потока Φ , пронизывающего какой-либо контур (рис. 7.4), независимо от того, чем вызвано изменение потока, в контуре наводится ЭДС

(7.9)

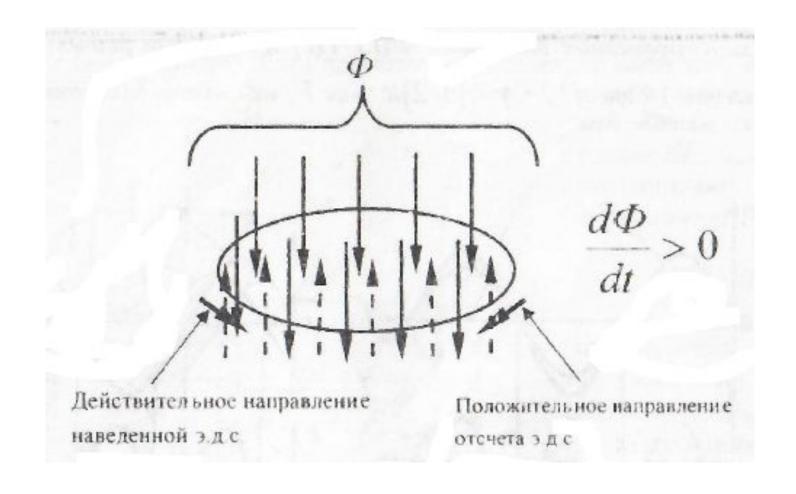


Рис. 7.4. Иллюстрация закона электромагнитной индукции

Действительное направление ЭДС и вызванного ей тока соответствует правилу Ленца: индукционный ток в контуре имеет такое направление, что создаваемый им магнитный поток сквозь поверхность, ограниченную контуром, уменьшает те изменения магнитного потока, которые вызваны появлением индукционного тока. Действительно, ток, протекающий в направлении ЭДС (против часовой стрелки) создает внутри контура магнитный поток, направленный встречно магнитному потоку Φ и препятствующий его возрастанию (показан на рис. 7.4 пунктиром).

Если переменный магнитный поток пронизывает тонкий лист из электропроводящего материала (алюминиевый сектор), то наведенная ЭДС и соответствующие токи (называемые вихревыми токами) распределяются по сектору в виде окружностей (рис. 7.5, а). Каждый элемент (тор) сектора можно рассматривать как замкнутый контур, направление тока в этом контуре также определяется по приведенному выше правилу.

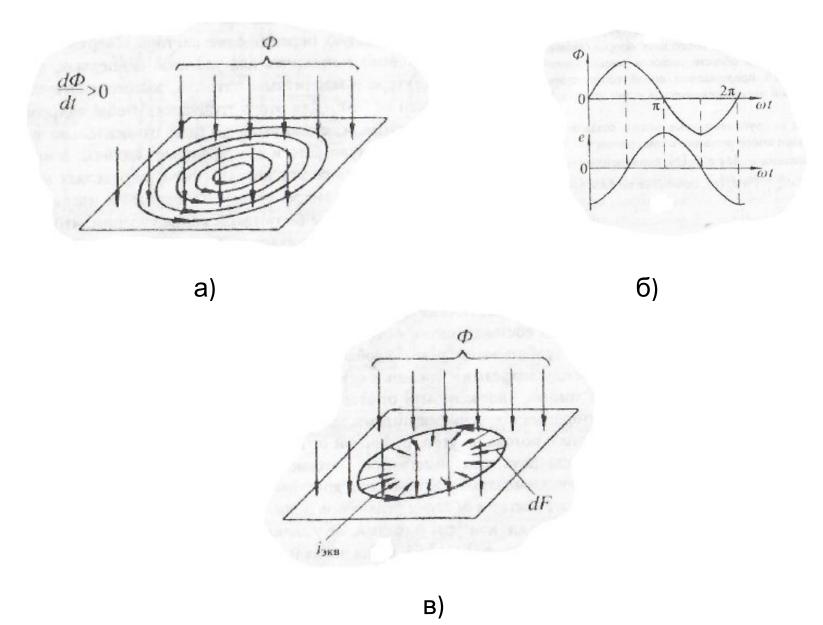


Рис. 7.5. Распределение наведенной ЭДС по сектору (a), отставание ЭДС от магнитного потока (б), эквивалентный виток (в)

Есл и

(7.10)

то с учетом действительного направления ЭДС для каждого контура тока имеем

(7.11)

т.е. ЭДС в каждом контуре тока изменяется по синусоидальному закону с угловой частой ω и отстает по фазе от магнитного потока $\Phi(t)$ на угол $\pi/2$ (рис. 7.5, б).

Если пренебречь индуктивностью каждого контура, т.е. считать сопротивление контура чисто активным и равным r, то ток в контуре равен

(7.12)

Алюминиевый сектор в области действия магнитного потока Φ можно рассматривать как некий эквивалентный виток, по которому протекает ток $i_{\mathfrak{I}_{KB}}(t)$, равный сумме токов всех рассматриваемых контуров (рис. 7.5, в). Поскольку все эти токи по фазе совпадают, то с учетом (7.12)

(7.13)

где K — коэффициент пропорциональности.

Чтобы механические силы, действующие на сектор, имели достаточно большую постоянную составляющую, обеспечивающую перемещение сектора в верхнее положение (т.е. срабатывание реле), необходимо выполнить два условия:

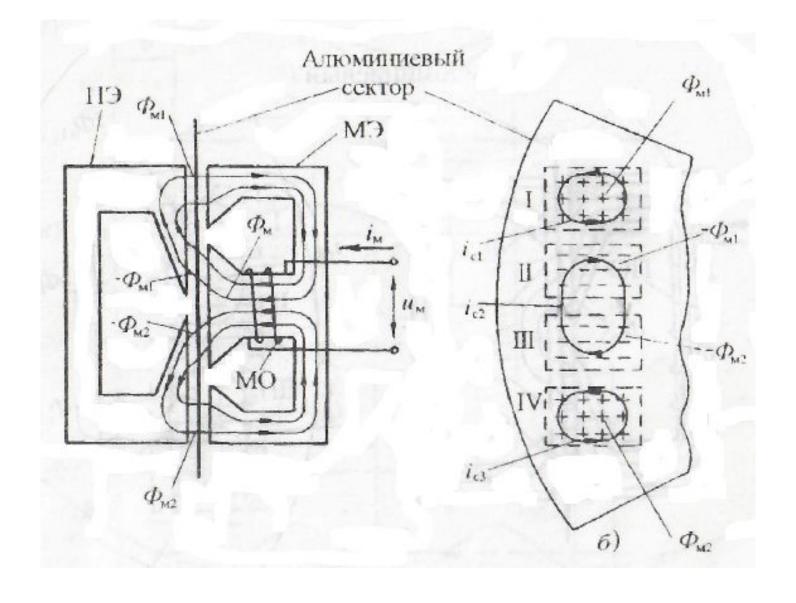
- 1. Фазовый угол между вихревыми токами в секторе и магнитным потоком, взаимодействующим с этими токами, должен быть отличен от 90°. Для этого требуется, чтобы вихревой ток индуктировался другим магнитным потоком, сдвинутого по фазе относительно первого магнитного потока на угол, отличный от нуля.
- 2. Сердечники МЭ и ПЭ представляют собой соответственно Ш-образный и П-образный пакеты из листовой электротехнической стали (рис. 7.1), МО расположена на среднем сердечнике.

Под действием переменных напряжений $u_{\rm M}(t)$ и $u_{\rm II}(t)$, приложенных к МО и ПО, по МО и ПО протекают переменные токи $i_{\rm M}(t)$ и $i_{\rm II}(t)$, сдвинутые по фазе относительно друг друга на некоторый угол φ :

(7.14)

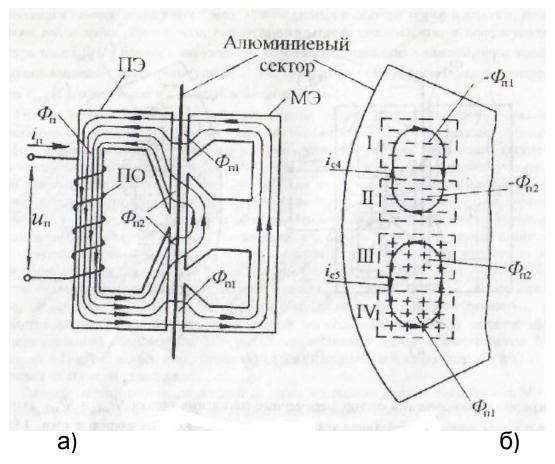
(7.15)

Ток $i_{\rm M}$ создает в среднем стержне сердечника МЭ переменный магнитный поток $\Phi_{\rm M}$ (рис. 7.6, a), который разделяется на две части ($\Phi_{\rm M1}$ и $\Phi_{\rm M2}$), замыкающиеся через стержни сердечника ПЭ в области полюсов, воздушные промежутки между полюсами сердечников и крайние стержни сердечника МЭ. Магнитные потоки $\Phi_{\text{м1}}$ и $\Phi_{\text{м2}}$ дважды пересекают алюминиевый сектор на четырех участках, которые соответствуют четырем воздушным промежуткам между полюсами сердечников ПЭ и МЭ и обозначены цифрами I, II, III, IV (рис. 7.6, б).



a) б)

Ток i_{π} создает в сердечнике ПЭ переменный магнитный поток Φ_{π} (рис. 7.7, а), который также разделяется на две части ($\Phi_{\pi 1}$ и $\Phi_{\pi 2}$), замыкающиеся соответственно через крайний и средний стержни сердечника МЭ. Потоки $\Phi_{\pi 1}$ и $\Phi_{\pi 2}$ пересекают сектор на тех же участках I-IV (рис 7.7, б)

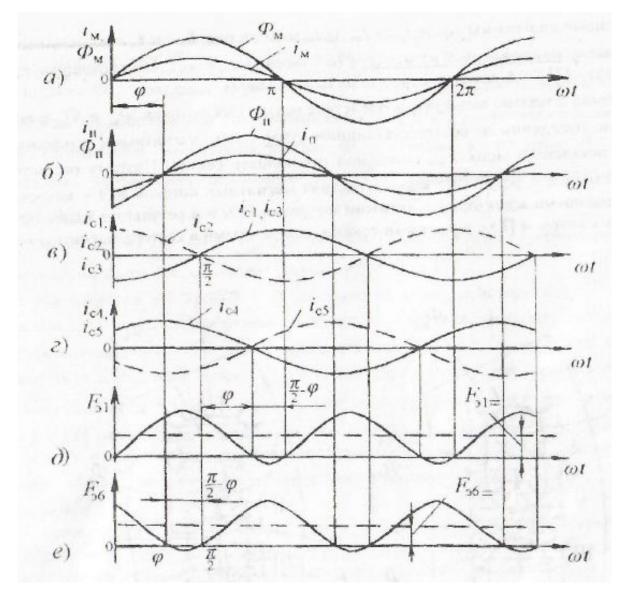


Режим работы сердечников МЭ и ПЭ соответствует линейному участку кривой намагниченности сердечников. Учитывая, что на пути всех магнитных потоков имеются достаточно большие воздушные зазоры, и пренебрегая активными потерями в стали, можно приближенно считать, что магнитные потоки пропорциональны возбуждающим их токам (рис. 7.8, а и б), т.е. с учетом выражений (7.14) и (7.15)

(7.16)

(7.17)

где $K_{\rm M}$ и $K_{\rm \Pi}$ – коэффициенты пропорциональности.



Вихревые токи, наведенные в секторе рассмотренными магнитными потоками, отстают от соответствующих потоков на угол $\pi/2$ согласно (7.13). с учетом принятого направления этих потоков на участках сектора (рис. 7.6 и 7.7) и соотношений (7.16) и (7.17), для вихревых токов можно записать

(7.18)

(7.19)

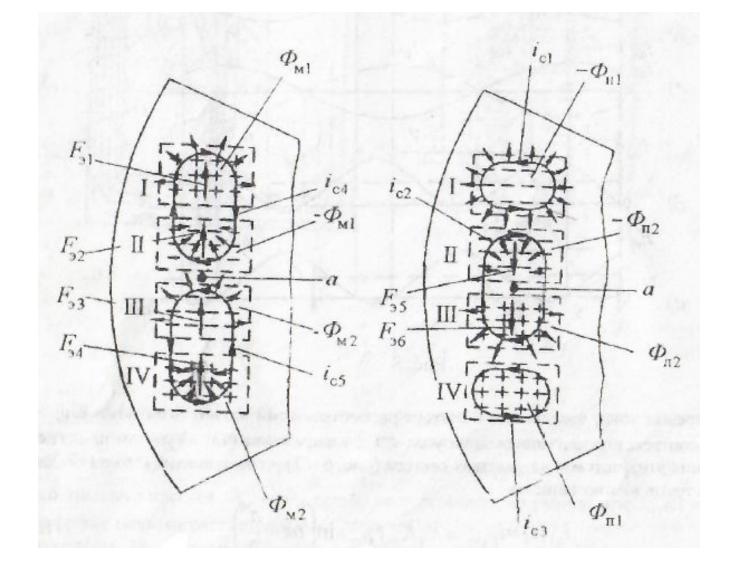
(7.20)

(7.21)

где K_1 , K_2 , K_4 и K_5 – постоянные коэффициенты.

На рис. 7.9, а показаны магнитные потоки $\Phi_{\rm M1}$ и $\Phi_{\rm M2}$, а также токи $i_{\rm c4}$ и $i_{\rm c5}$, наведенные в секторе магнитным потоком $\Phi_{\rm II}$ (направления потоков и токов соответствует случаям, рассмотренным выше). Силы, возникающие в каждой точке контуров тока (показаны маленькими стрелками) в результате взаимодействия с магнитными потоками, в пределах каждого участка сектора полностью не компенсируют друг друга и образуют некоторые эквивалентные силы $F_{\rm 91}-F_{\rm 94}$, направленные вверх.

Магнитные потоки $\Phi_{\pi 1}$ и $\Phi_{\pi 2}$, а также вихревые токи $i_{c1}-i_{c3}$, наведенные магнитным потоком $\Phi_{\rm M}$, показаны на рис. 7.9, б. На участках II и III силы, действующие на контур с током i_{c2} , образуют эквивалентные силы F_{95} и F_{96} , направленные вниз (при принятом направлении магнитного потока Φ_{π}).



а) б)

Силы $F_{\ni 1} - F_{\ni 4}$, образованные в результате взаимодействия магнитного потока МЭ с вихревыми токами в секторе, наведенными магнитным потоком ПЭ, можно заменить одной суммарной силой

(7.22)

приложенной к сектору в точке a, находящейся на границе участков II и III (рис. 7.9,а).

Сила $F_{\ni \mathrm{I}}$ относительно оси 4 (рис. 7.1) создает вращающий момент

(7.23)

где R — расстояние от точки a (рис. 7.9, a) до оси сектора.

Поскольку силы $F_{\ni 1} - F_{\ni 4}$ изменяются во времени одинаково, рассмотрим одну из них, например, $F_{\ni 1}$. Мгновенное значение этой силы определяется соотношением

(7.24)

где c_1 – постоянный коэффициент.

С учетом выражений (7.16), (7.20) и (7.6) получаем

(7.25)

Переходя к действующим значениям токов ($I_{\rm M}=I_{\rm M}m/\sqrt{2}$ и $I_{\rm II}=I_{\rm II}m/\sqrt{2}$) и учитывая, что $\cos\left(\varphi+\frac{\pi}{2}\right)=-\sin\varphi$, для первой (постоянной) составляющей силы $F_{\rm 31}(t)$, на которую реагирует сектор, получаем

(7.26)

Соотношения для сил $F_{\ni 2}(t) - F_{\ni 4}(t)$, полученные таким же образом, аналогичны соотношению (7.25). Тогда из (7.23), (7.22) и (7.26) для постоянной составляющей вращающего момента $M_{\rm I}$ получаем:

(7.27)

где $K_{\rm I}$ – постоянный коэффициент.

Силы F_{95} и F_{96} также образуют суммарную силу, действующую на сектор в точке a (рис. 7.9, б)

(7.28)

которая, создает вращающий момент

(7.29)

Рассмотрим силу F_{96} . Для принятых на рис. 7.9, б направлений $\Phi_{\pi 2}$, i_{c2} и F_{96} , можно записать

(7.30)

или с учетом выражений (7.17), (7.19) и (7.6)

(7.31)

Учитывая, что $\cos\left(\varphi-\frac{\pi}{2}\right)=\sin\varphi$, для первой, постоянной составляющей силы $F_{\ni 6}(t)$ имеем

(7.32)

Таким образом, направление постоянной составляющей силы $F_{\ni 6}$ (а также силы $F_{\ni 5}$) противоположно направлению, указанному на рис. 7.9, б. вращающий момент $M_{\rm II}=$, создаваемый силами $F_{\ni 5}$ и $F_{\ni 6}$, направлен согласно с моментом $M_{\rm I}=$ и определяется соотношением

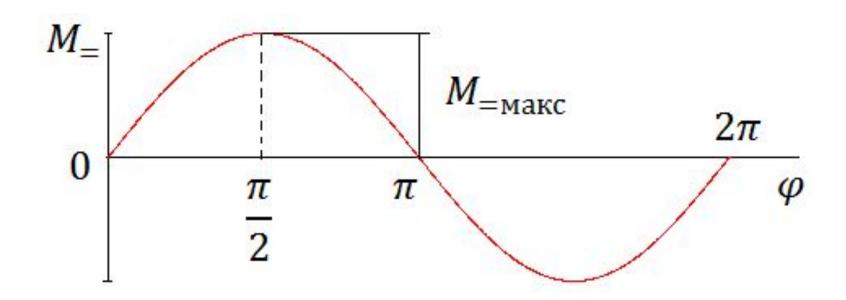
(7.33)

Постоянная составляющая суммарного магнитного момента $M_{=}$ ($M_{=}=M_{\rm I=}+M_{\rm II=}$) на основании (7.27) и (7.33) определяется соотношением

(7.34)

где
$$K_{\rm Bp} = K_{\rm I} + K_{\rm II}$$
.

Зависимость вращающего момента $M_{=}$ от угла φ между токами I_{Π} и I_{M} , вытекающая из соотношения (7.34), показана на рис. 7.10 (токи I_{Π} и I_{M} приняты неизменными).



Поскольку при $\varphi=90^0$ вращающий момент $M_=$ максимален, и для получения значения $M_=$, обеспечивающего подъем сектора до определенного уровня (например, до уровня, соответствующего замыканию фронтовых контактов, т.е. до уровня прямого подъема), требуется минимальное значение I_{Π} (или U_{Π}), то угол φ , равный 90^0 , называют **идеальным** фазовым углом ($\varphi_{u_{\Pi}}$).

Если угол φ отклоняется от 90^{0} , то момент $M_{=}$ уменьшается (т.к. в этом случае уменьшается значение $\sin \varphi$). При $\varphi \neq 90^{0}$ для получения того же значения $M_{=}$, которое достигается при $\varphi = 90^{0}$, значение I_{Π} следует увеличить.

При $\varphi = \varphi_{_{\rm ИД}} = 90^{0}$ вращающий момент, соответствующий прямому подъему ($M_{_{\rm Пр. \Pi}}$), согласно (7.34) равен

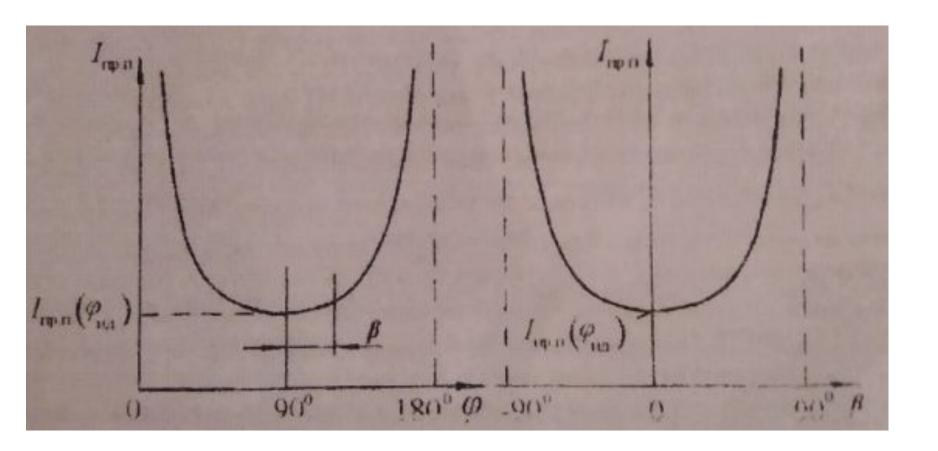
(7.35)

При $\varphi \neq \varphi_{_{\mathrm{HJ}}}$ то же самое значение вращающего момента определяется соотношением

(7.36)

Приравнивая правые части (7.35) и (7.36), получаем

(7.37)



a) б)

Иногда рассматривают зависимость параметров срабатывания и отпускания не от угла φ , а от угла β , который характеризует отклонение угла φ от $\varphi_{_{\rm ИД}}$ (рис. 7.11, а), т.е.

(7.38)

Учитывая, что в этом случае $\varphi = \frac{\pi}{2} + \beta$, а $\sin \varphi = \sin \left(\frac{\pi}{2} + \beta \right) = \cos \beta$, то вместо зависимости (7.37) можно записать

(7.39)

Выражение (7.39) называется **фазовой функцией** реле ДСШ.

Если изменить направление тока $i_{\pi}(t)$ в ПО, т.е. если $180^0 < \varphi < 360^0$, то направление вращающего момента $M_{=}$ изменяется на противоположное (рис. 7.10).

Поскольку значение $M_{=}$, а следовательно процесс срабатывания и отпускания реле ДСШ зависят не только от амплитуды тока i_{Π} , но и от сдвига фаз между токами i_{Π} и i_{M} , то такие реле называют фазочувствительными.

Для получения больших выдержек времени на срабатывание в железнодорожной автоматике применяют реле с термическим элементом и стабилитронные реле.

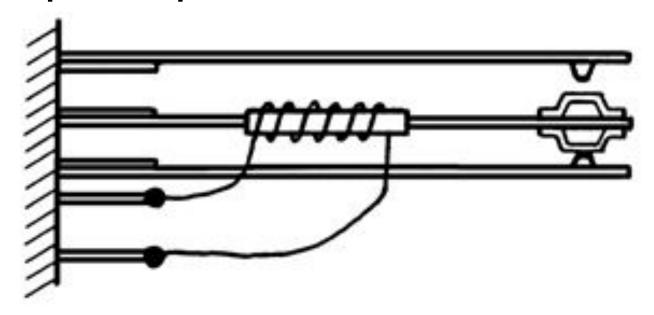


Рис. 7.12. Термовключатель

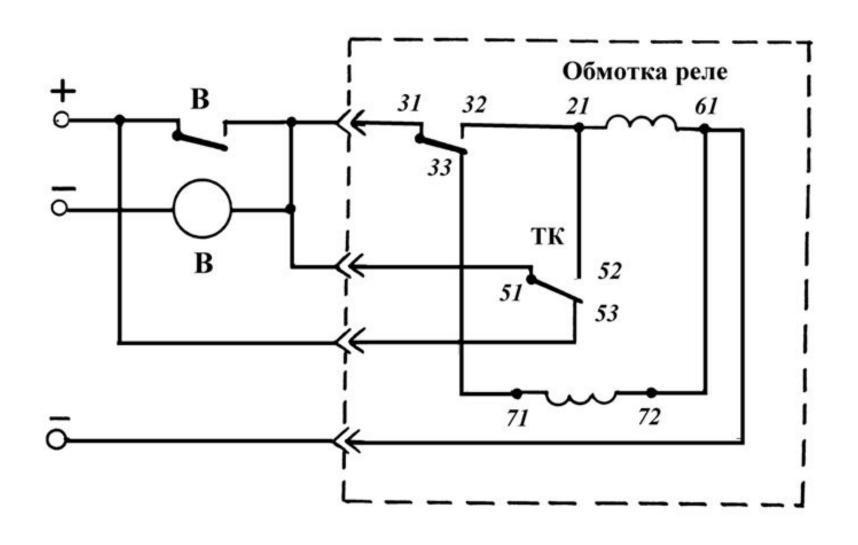


Рис.7.13. Схема включения реле типа АНШМТ-380

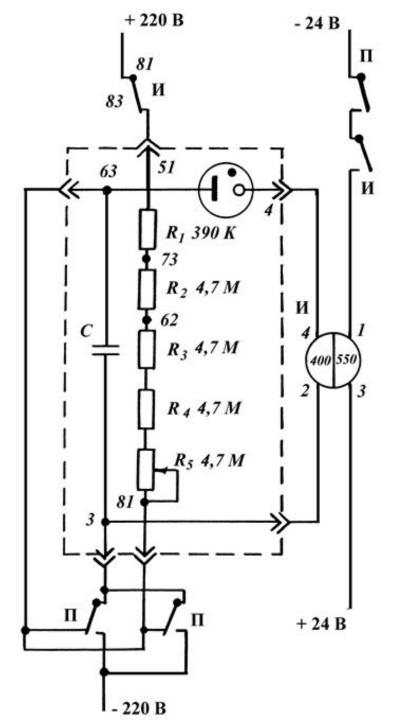


Рис. 7.14. Схема стабилитронного реле При замыкании контактов пускового реле Π начинается заряд конденсатора C от источника постоянного напряжения $U_{\rm B}=220$ В через резисторы R1-R5, в соответствии с выражением

(7.40)

в котором $\tau = RC$ — постоянная времени цепи заряда, R — сопротивление резисторов, через которые производится заряд.

В течение интервала времени $t_{\rm 3}$, конденсатор зарядится до напряжения зажигания стабилитрона $U_{\rm 3}$. Величина $t_{\rm 3}$, определяется из выражения

(7.41)

при
$$U_{\rm c} = U_{\rm 3}$$
, $t = t_{\rm 3}$. $t_{\rm 3} = 16.2 \cdot 10^{-6} \cdot R$.