

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 в результате взаимодействия переменного **магнитного потока** одного электромагнита и **токов**, индуцируемых 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) якоря и сердечника.

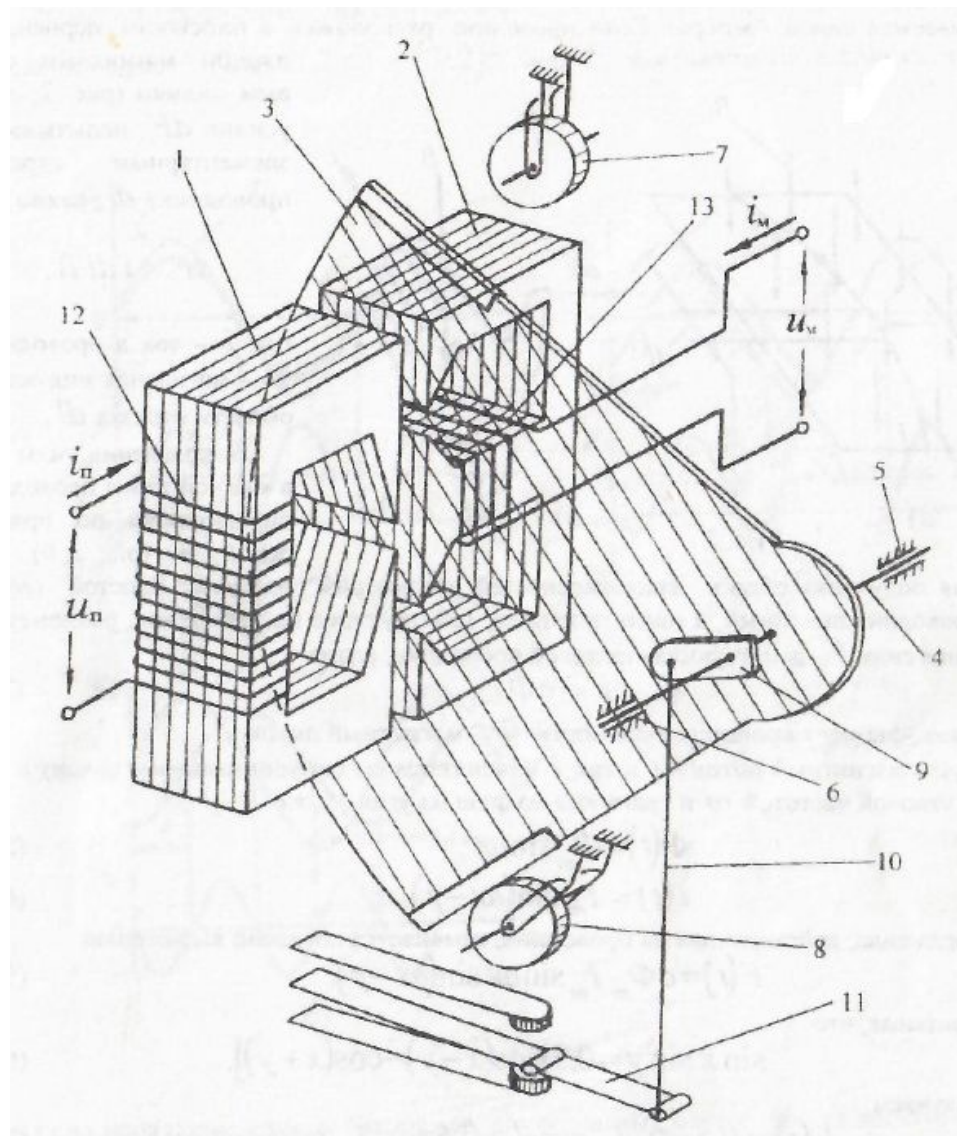


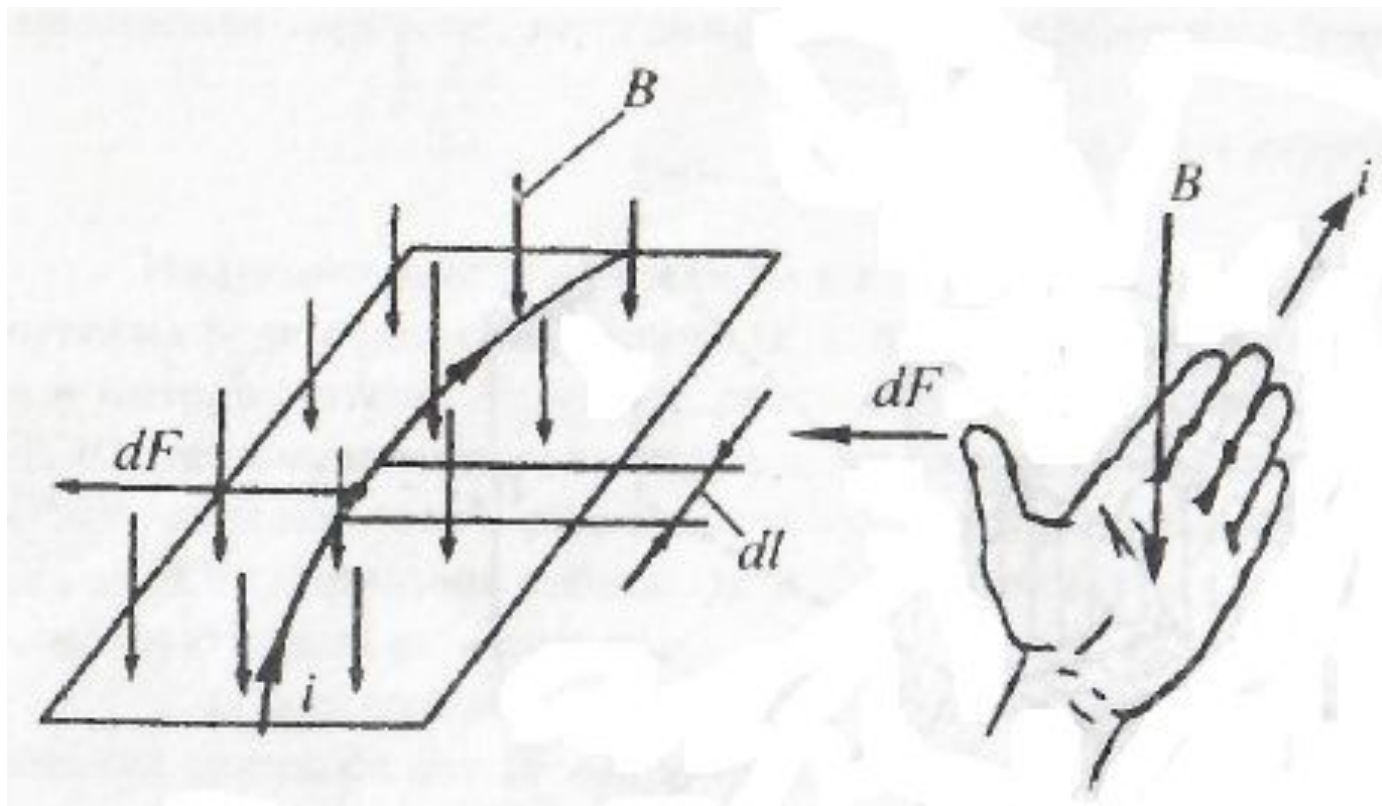
Рис. 7.1. Упрощенная конструкция реле типа ДСШ

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

(7.6)

из (7.5) получаем

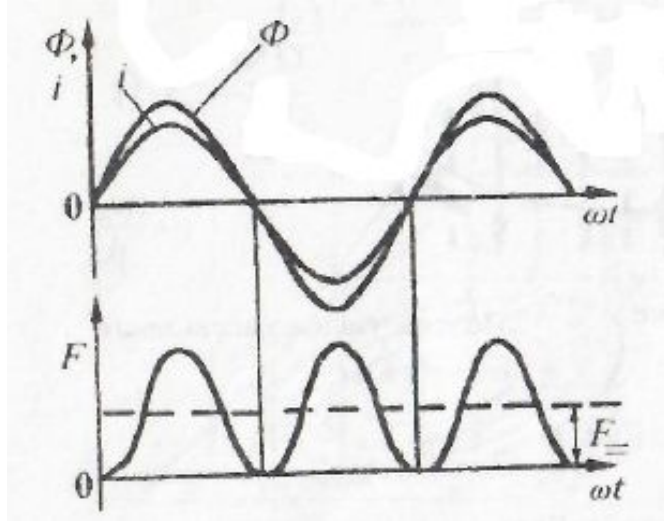
(7.7)

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

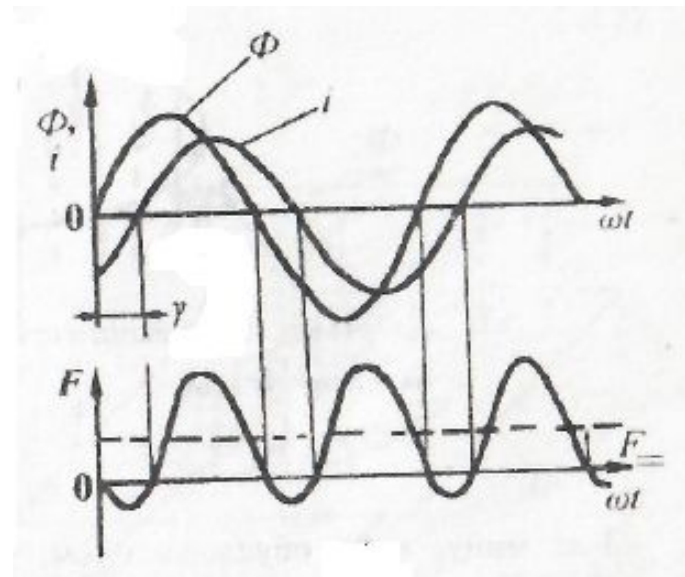
(7.8)

и переменную составляющую

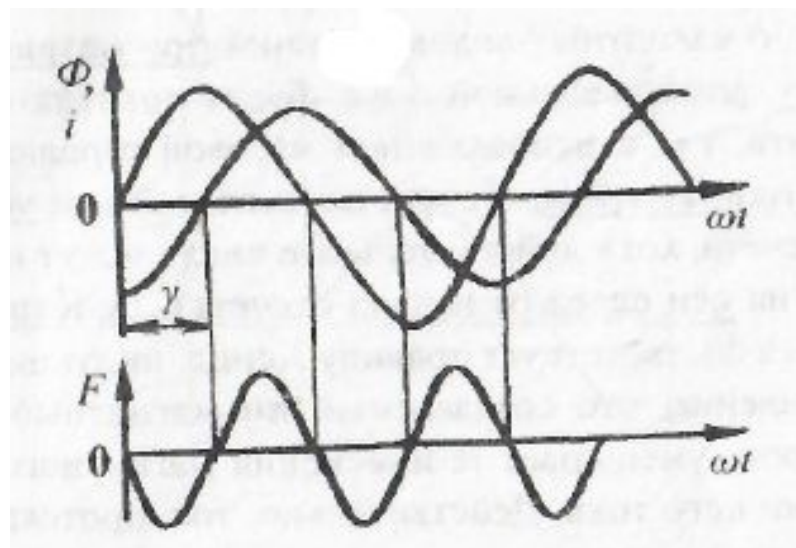
изменяющуюся с двойной частотой.



a) $\gamma = 0$



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)

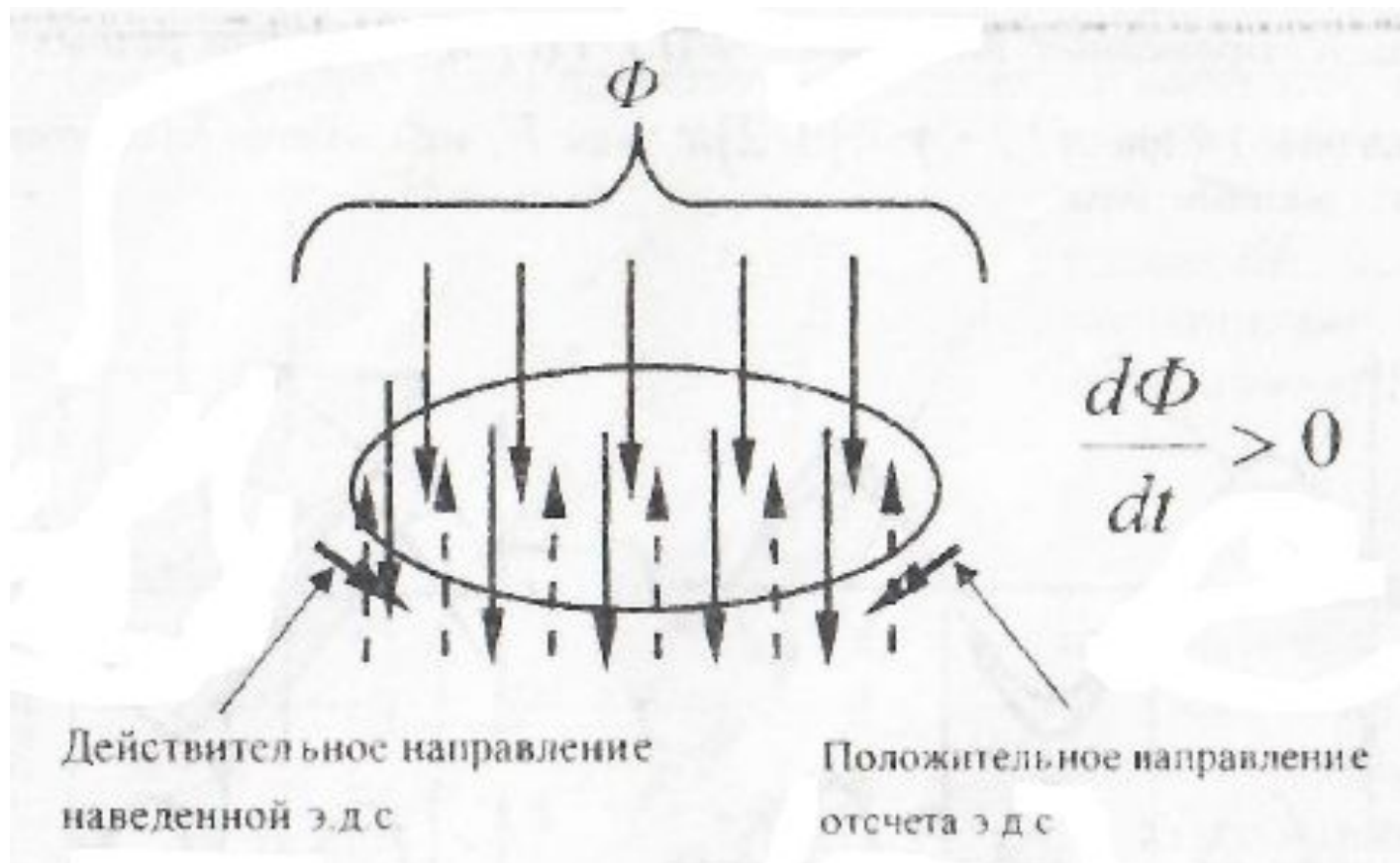
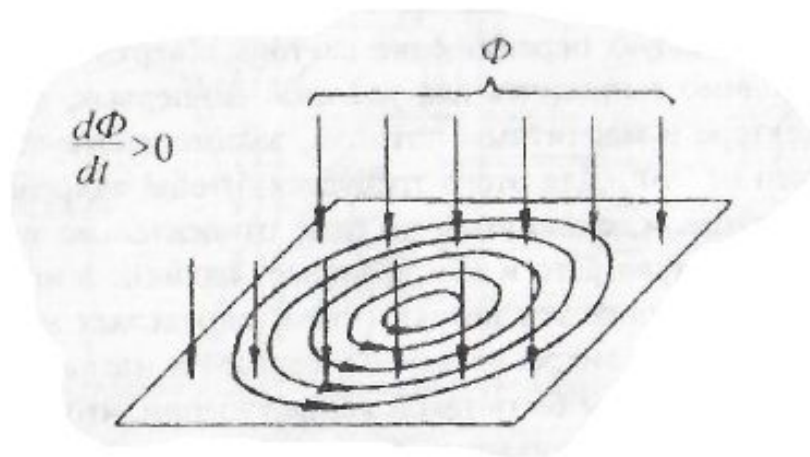


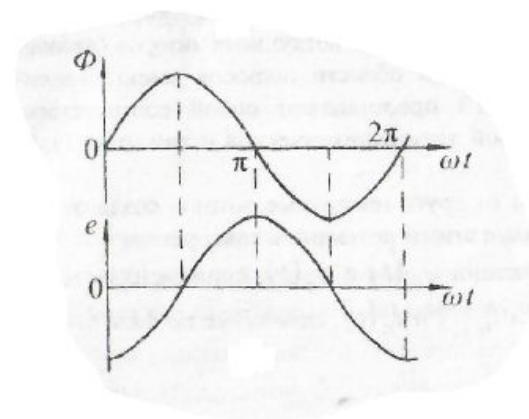
Рис. 7.4. Иллюстрация закона электромагнитной индукции

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).

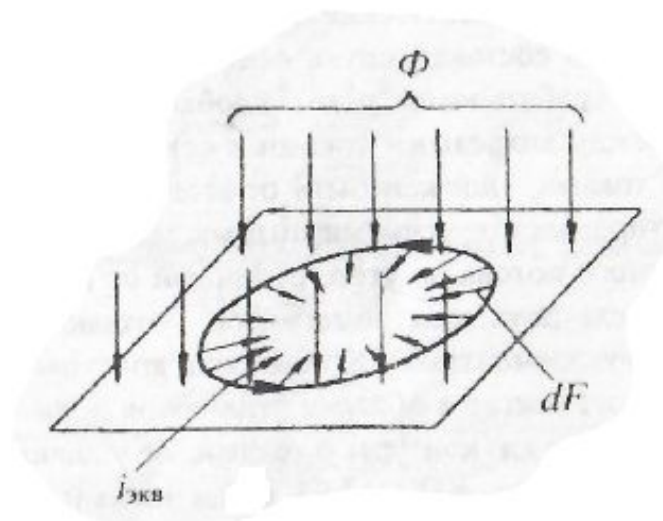
Если переменный магнитный поток пронизывает тонкий лист из электропроводящего материала (алюминиевый сектор), то наведенная ЭДС и соответствующие токи (называемые вихревыми токами) распределяются по сектору в виде окружностей (рис. 7.5, а). Каждый элемент (тор) сектора можно рассматривать как замкнутый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



а)



б)



в)

Рис. 7.5. Распределение наведенной ЭДС по сектору (а), 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 частотой 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 $i_{\text{ЭКВ}}(t)$, 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:

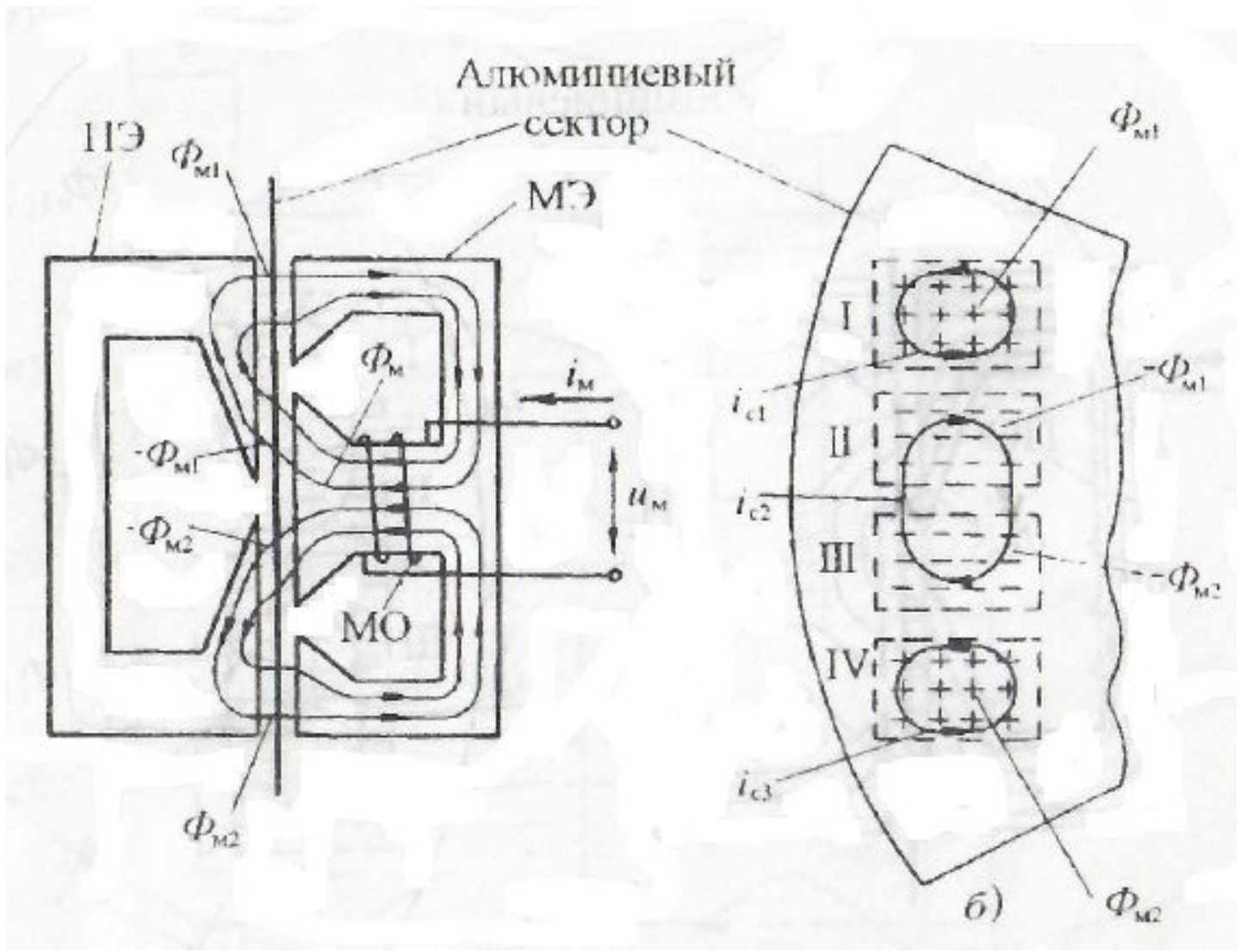
1. Фазовый угол между вихревыми токами в секторе и магнитным потоком, взаимодействующим с этими токами, должен быть отличен от 90° . Для этого требуется, чтобы вихревой ток индуктировался другим магнитным потоком, сдвинутого по фазе относительно первого магнитного потока на угол, отличный от нуля.
2. 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 $u_M(t)$ и $u_{II}(t)$, приложенных к МО и ПО, по МО и ПО протекают переменные токи $i_M(t)$ и $i_{II}(t)$, сдвинутые по фазе относительно друг друга на некоторый угол φ :

(7.14)

(7.15)

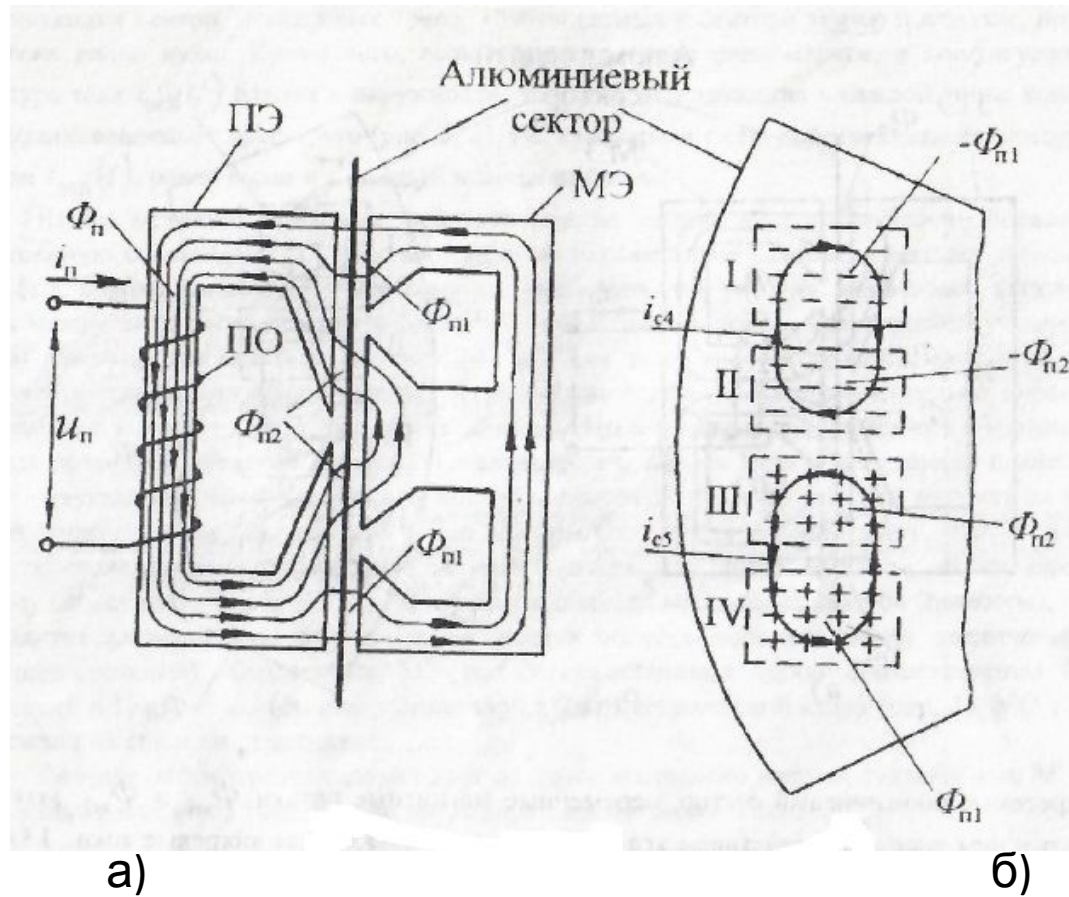
Ток i_M создает в среднем стержне сердечника МЭ переменный магнитный поток Φ_M (рис. 7.6, а), который разделяется на две части (Φ_{M1} и Φ_{M2}), замыкающиеся через стержни сердечника ПЭ в области полюсов, воздушные промежутки между полюсами сердечников и крайние стержни сердечника МЭ. Магнитные потоки Φ_{M1} и Φ_{M2} 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).



а)

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)

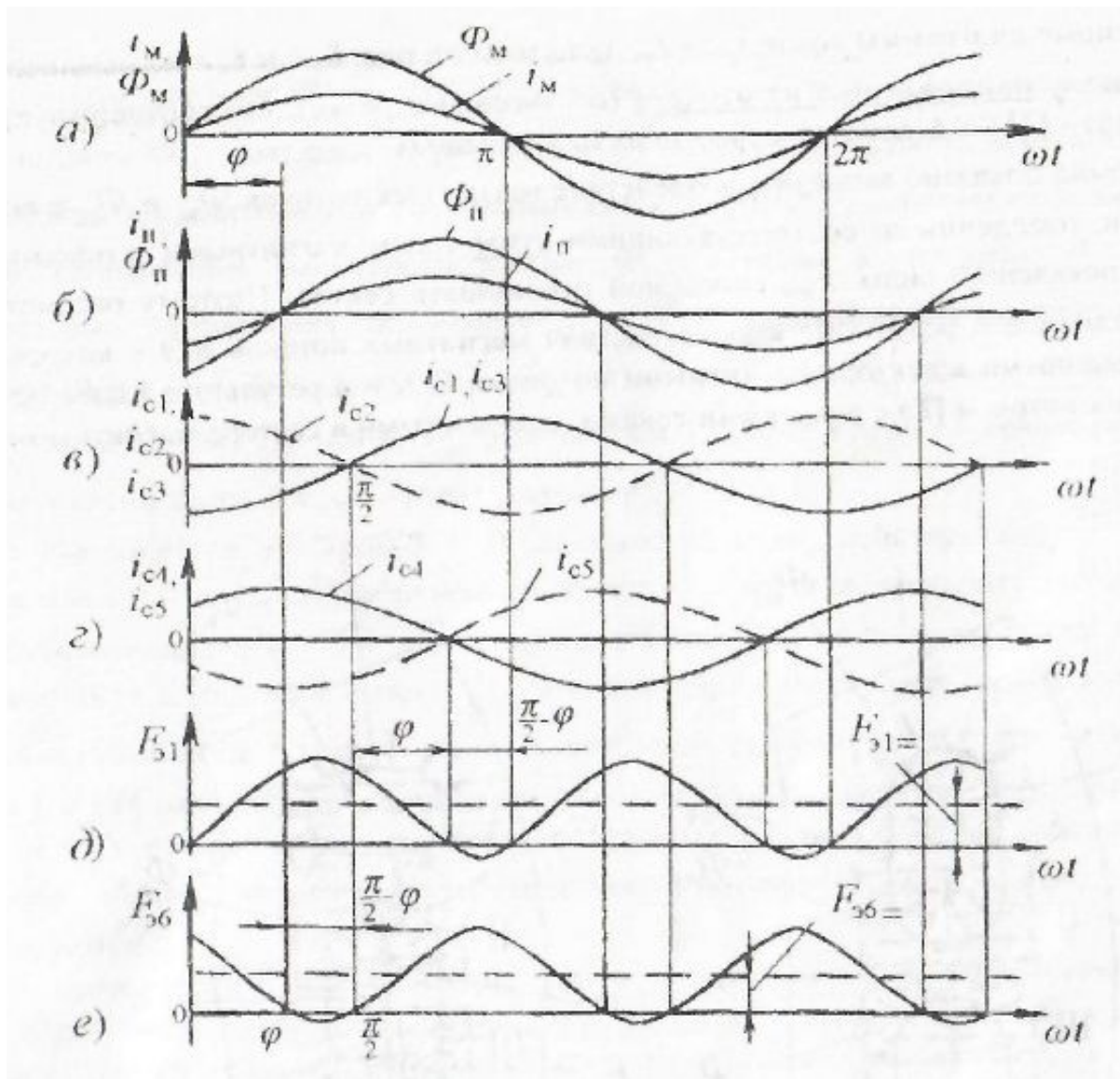


Режим работы сердечников МЭ и ПЭ соответствует линейному участку кривой намагниченности сердечников. Учитывая, что на пути всех магнитных потоков имеются достаточно большие воздушные зазоры, и пренебрегая активными потерями в стали, можно приближенно считать, что магнитные потоки пропорциональны возбуждающим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

$$(7.16)$$

$$(7.17)$$

где K_M и K_{II} – 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

$$(7.18)$$

$$(7.19)$$

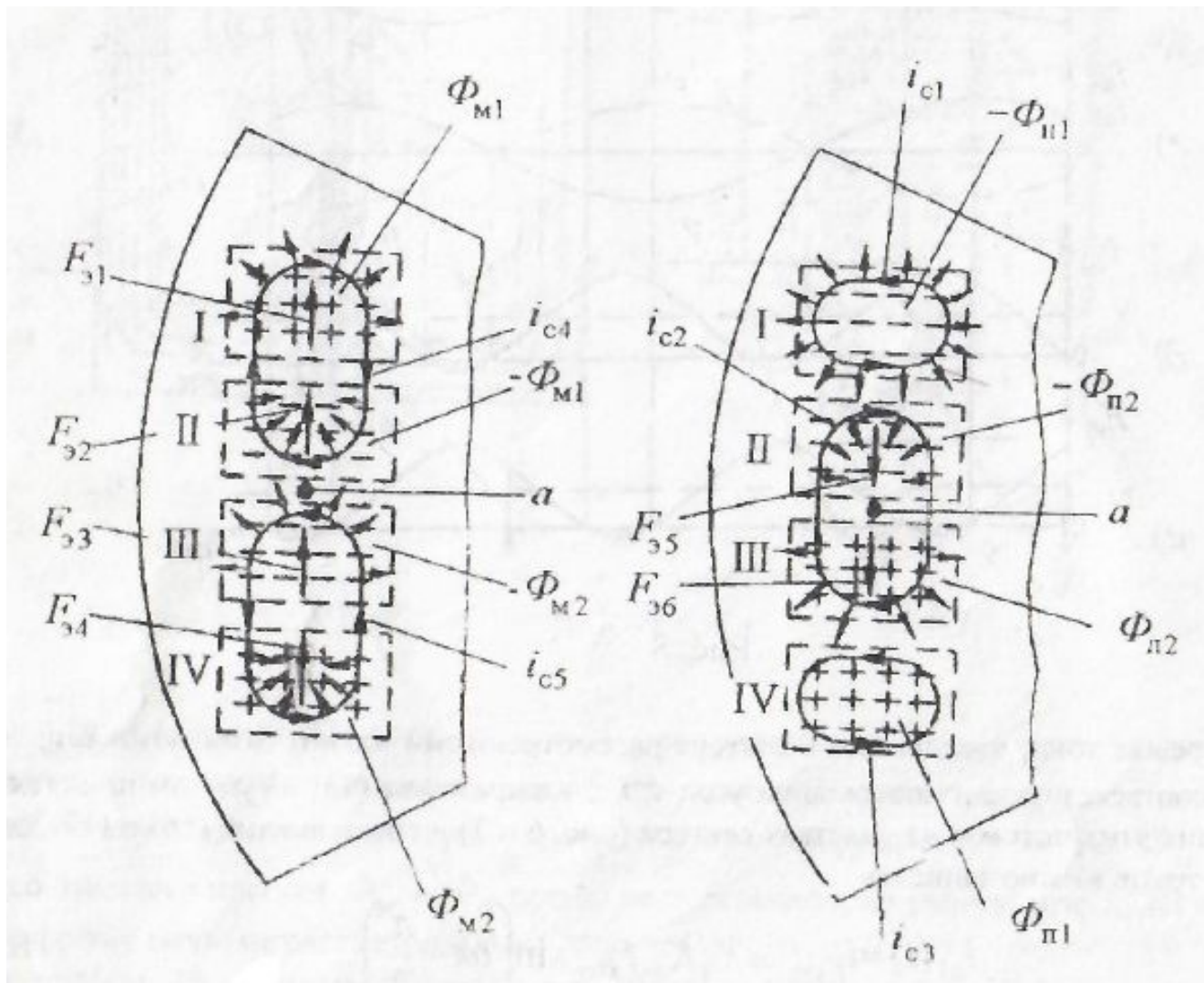
$$(7.20)$$

$$(7.21)$$

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

На рис. 7.9, а показаны магнитные потоки Φ_{M1} и Φ_{M2} , а также токи i_{c4} и i_{c5} , наведенные в секторе магнитным потоком Φ_{Π} (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 $F_{\varepsilon 1} - F_{\varepsilon 4}$, направленные вверх.

Магнитные потоки $\Phi_{\Pi 1}$ и $\Phi_{\Pi 2}$, а также вихревые токи $i_{c1} - i_{c3}$, наведенные магнитным потоком Φ_M , показаны на рис. 7.9, б. На участках II и III силы, действующие на контур с током i_{c2} , образуют эквивалентные силы $F_{\varepsilon 5}$ и $F_{\varepsilon 6}$, направленные вниз (при принятом направлении магнитного потока Φ_{Π}).



a)

б)

Силы $F_{\varepsilon 1} - F_{\varepsilon 4}$, 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 $F_{\varepsilon I}$ относительно оси 4 (рис. 7.1) создает вращающий момент

(7.23)

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

Поскольку силы $F_{\varepsilon 1} - F_{\varepsilon 4}$ изменяются во времени одинаково, рассмотрим одну из них, например, $F_{\varepsilon 1}$. 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 ($I_M = I_{Mm}/\sqrt{2}$ и $I_{II} = I_{II m}/\sqrt{2}$) и учитывая, что $\cos\left(\varphi + \frac{\pi}{2}\right) = -\sin \varphi$, для первой (постоянной) составляющей силы $F_{\varepsilon 1}(t)$, на которую реагирует сектор, получаем

$$(7.26)$$

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

$$(7.27)$$

где K_I – постоянный коэффициент.

Силы $F_{э5}$ и $F_{э6}$ также образуют суммарную силу, действующую на сектор в точке a (рис. 7.9, б)

(7.28)

которая, создает вращающий
МОМЕНТ

(7.29)

Рассмотрим силу $F_{э6}$. Для принятых на рис. 7.9, б направлений $\Phi_{п2}$, $i_{с2}$ и $F_{э6}$, 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 $F_{э6}(t)$ имеем

(7.32)

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

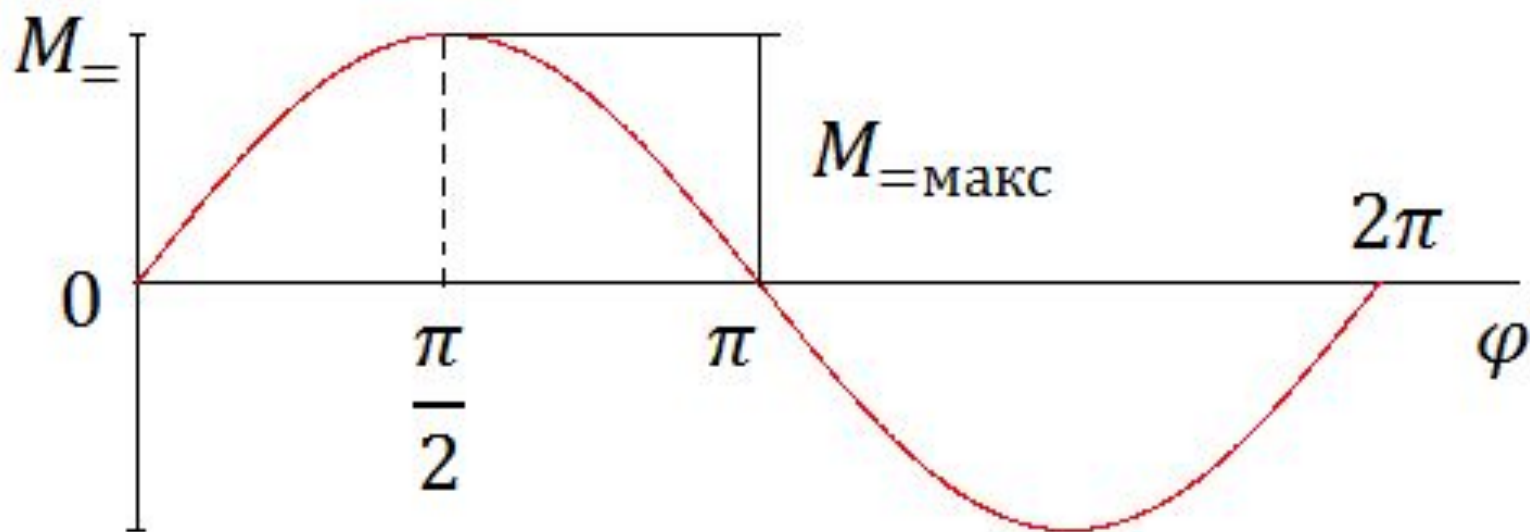
$$(7.33)$$

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

$$(7.34)$$

$$\text{где } K_{\text{вр}} = K_{\text{I}} + K_{\text{II}}.$$

Зависимость вращающего момента M_{\equiv} 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_{Σ} максимален, и для получения значения M_{Σ} , 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** ($\varphi_{ид}$).

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

При $\varphi = \varphi_{\text{ид}} = 90^0$ вращающий момент, соответствующий прямому подъему ($M_{\text{пр.п}}$), согласно (7.34) равен

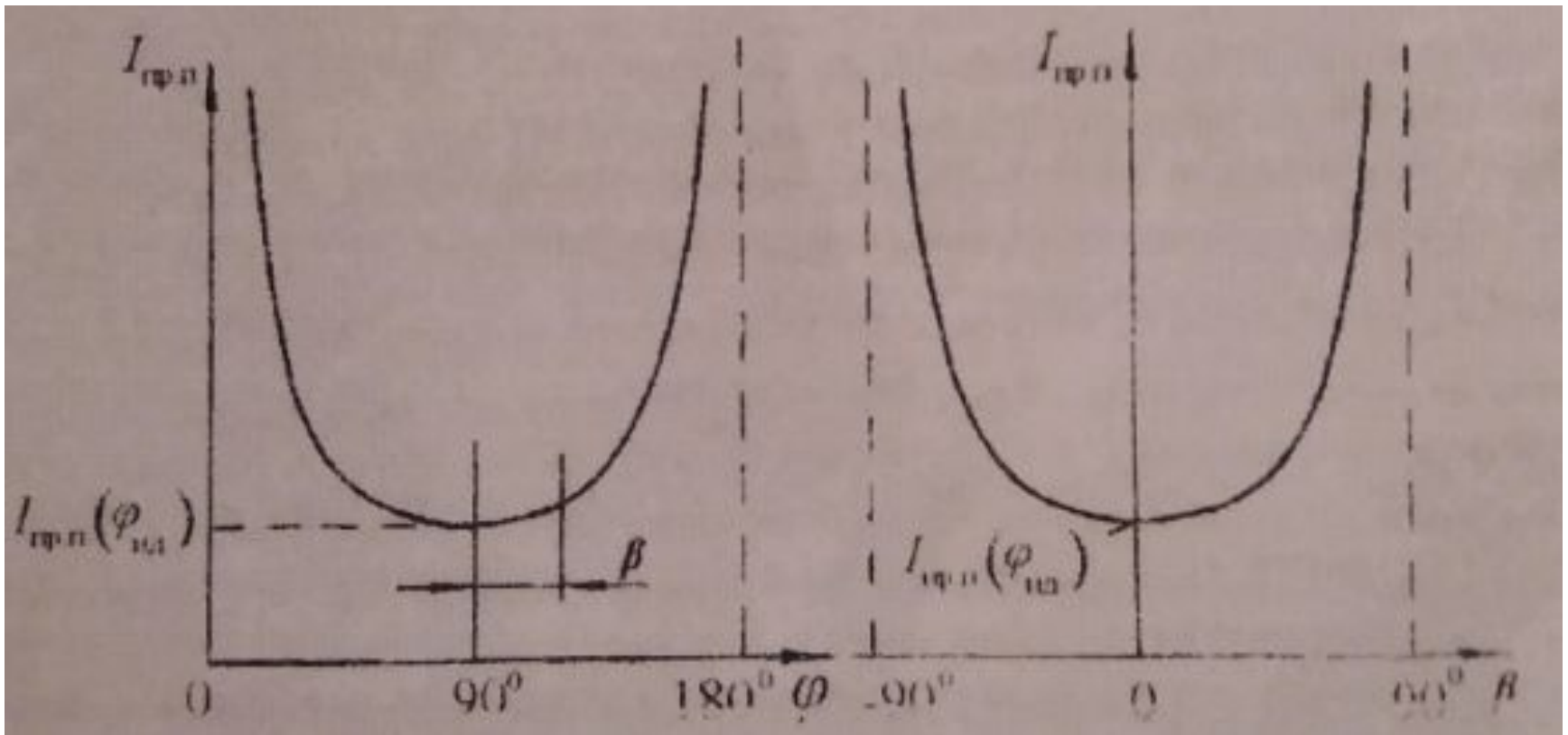
(7.35)

При $\varphi \neq \varphi_{\text{ид}}$ 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 $\varphi_{ид}$ (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 $180^{\circ} < \varphi < 360^{\circ}$, то направление вращающего момента M_{\equiv} изменится на противоположное (рис. 7.10).

Поскольку значение M_{\equiv} , 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 $i_{\text{М}}$, то такие реле называют **фазочувствительными**.

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

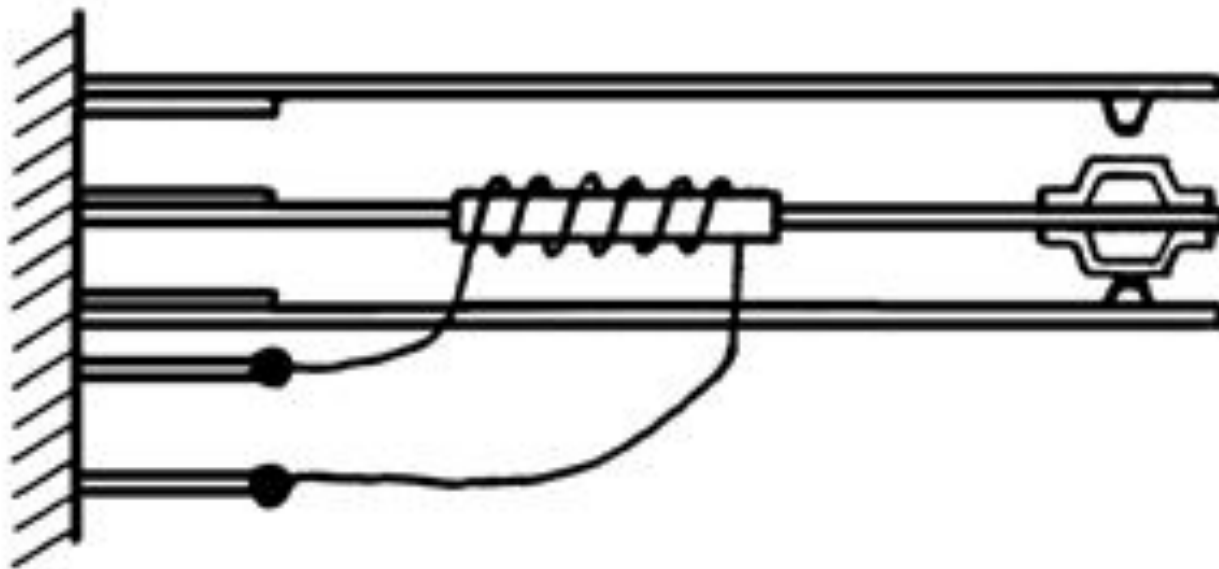


Рис. 7.12. Термовключатель

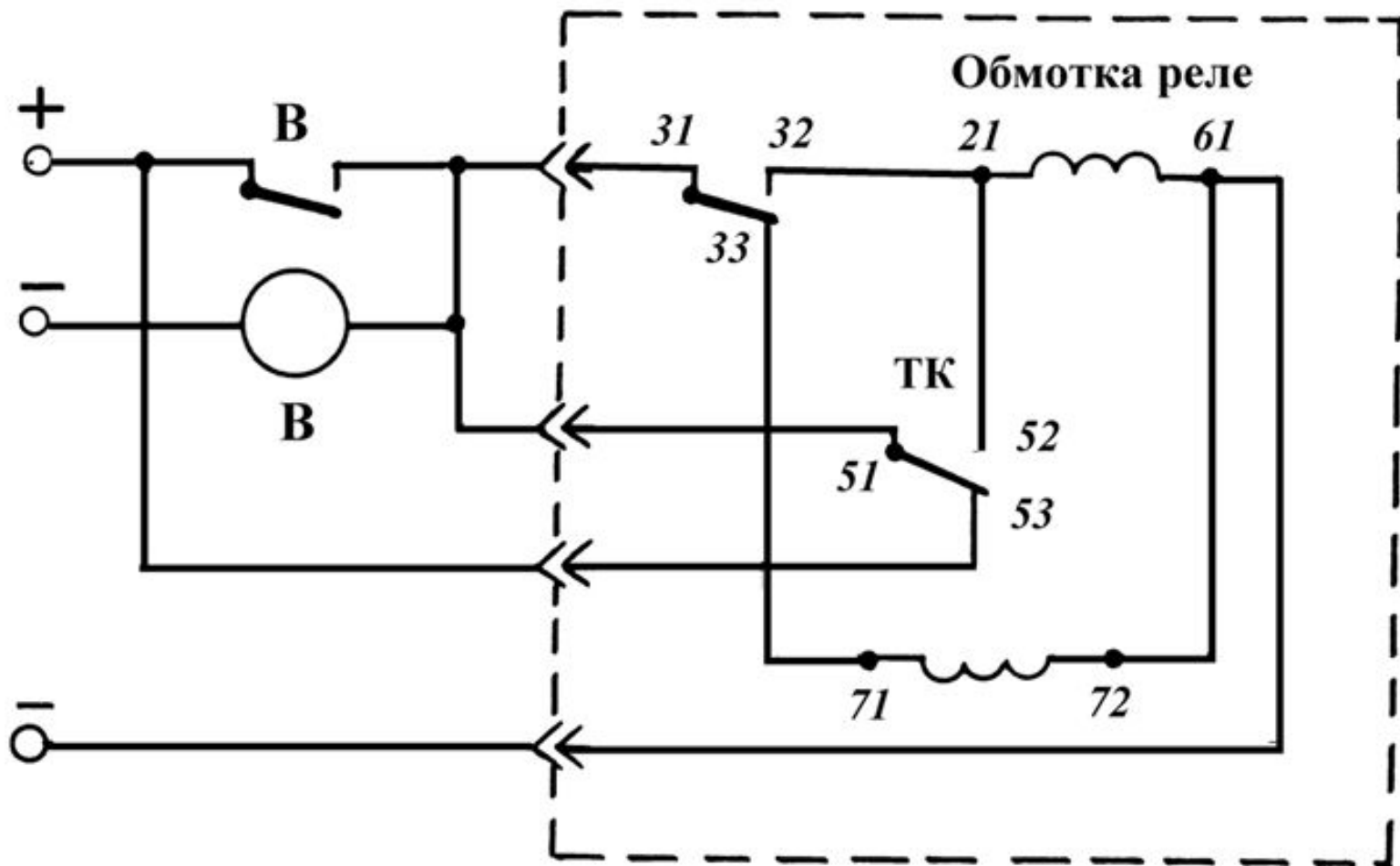


Рис.7.13. Схема включения реле типа АНШМТ-380

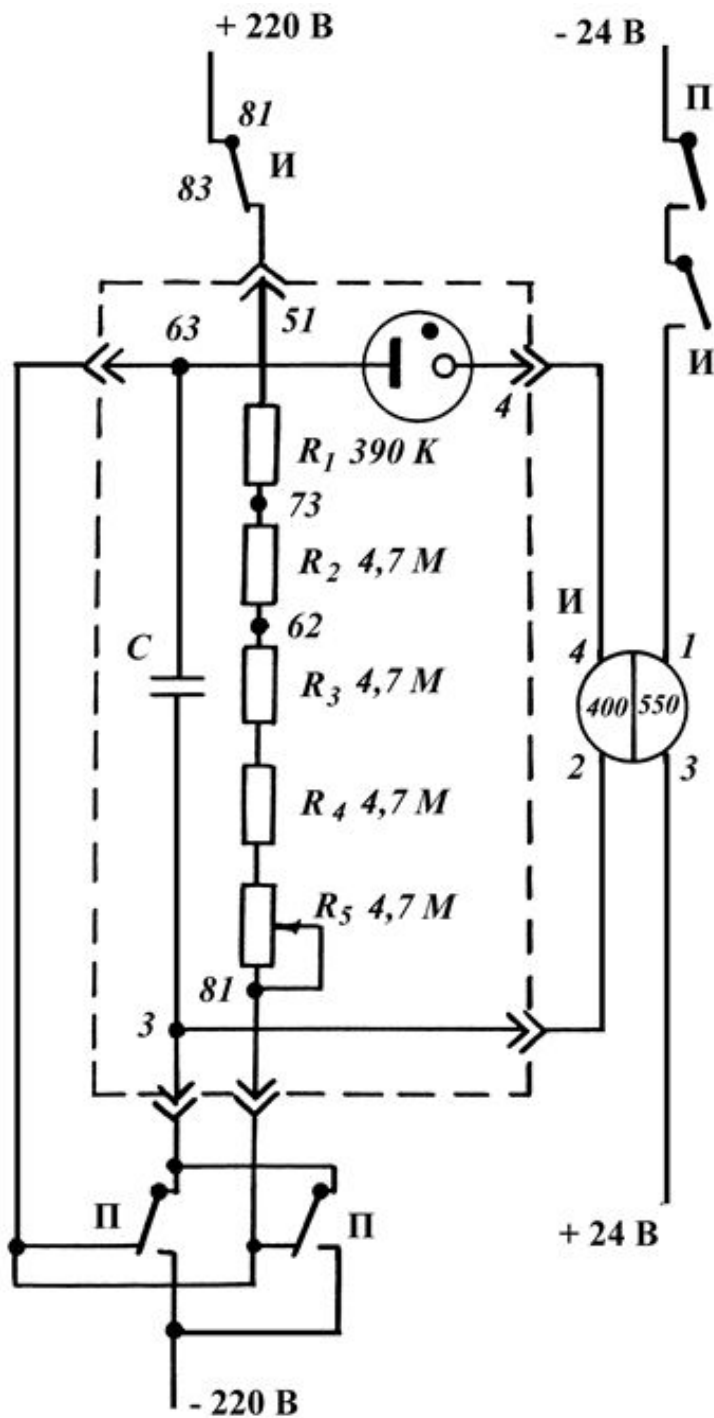


Рис. 7.14. Схема стабилизатора реле

При замыкании контактов пускового реле Π начинается заряд конденсатора C от источника постоянного напряжения $U_B = 220$ 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_3 , конденсатор зарядится до напряжения зажигания стабилитрона U_3 . Величина t_3 , определяется из выражения

$$(7.41)$$

при $U_C = U_3, t = t_3$.

$$t_3 = 16,2 \cdot 10^{-6} \cdot R.$$