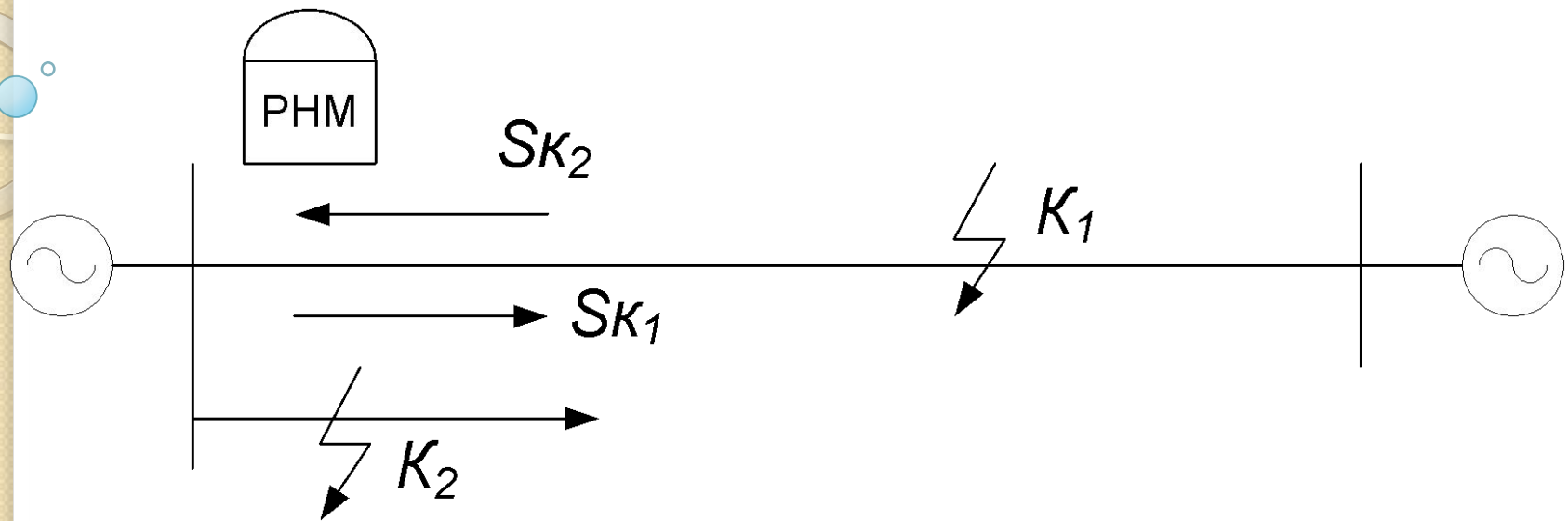




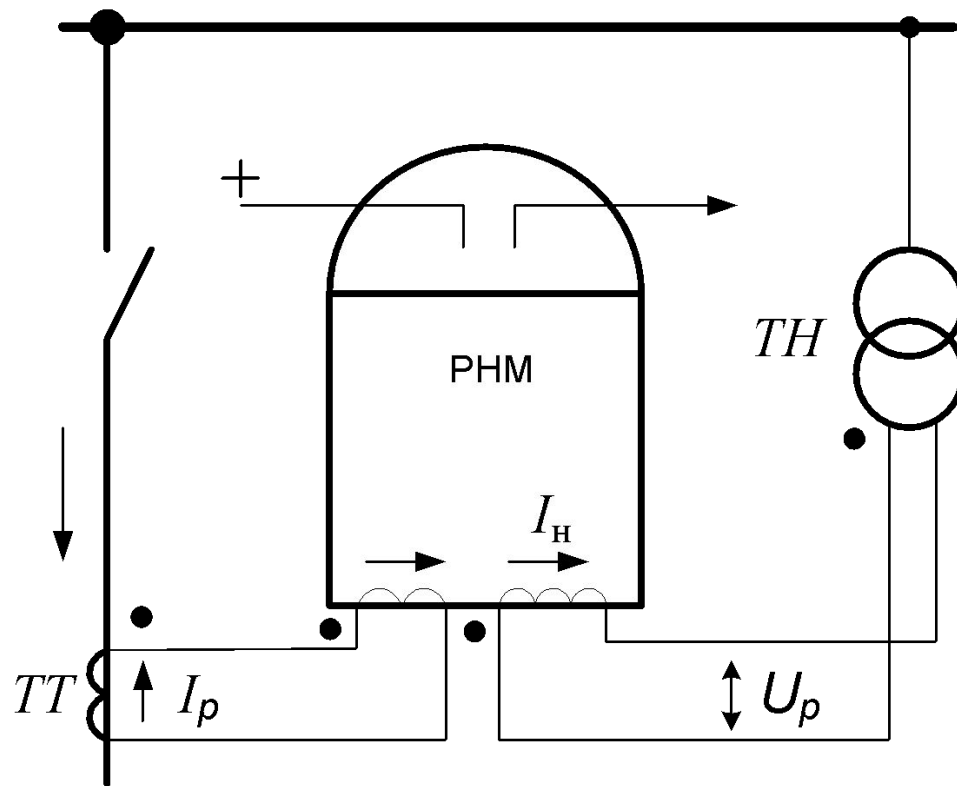
Реле направления мощности

Функция РНМ



В первом случае $S_{к1}$ направлена от шин в линию и РНМ должно замыкать свои контакты, во втором – $S_{к2}$ направлена к шинам и РНМ не должно замыкать контакты.

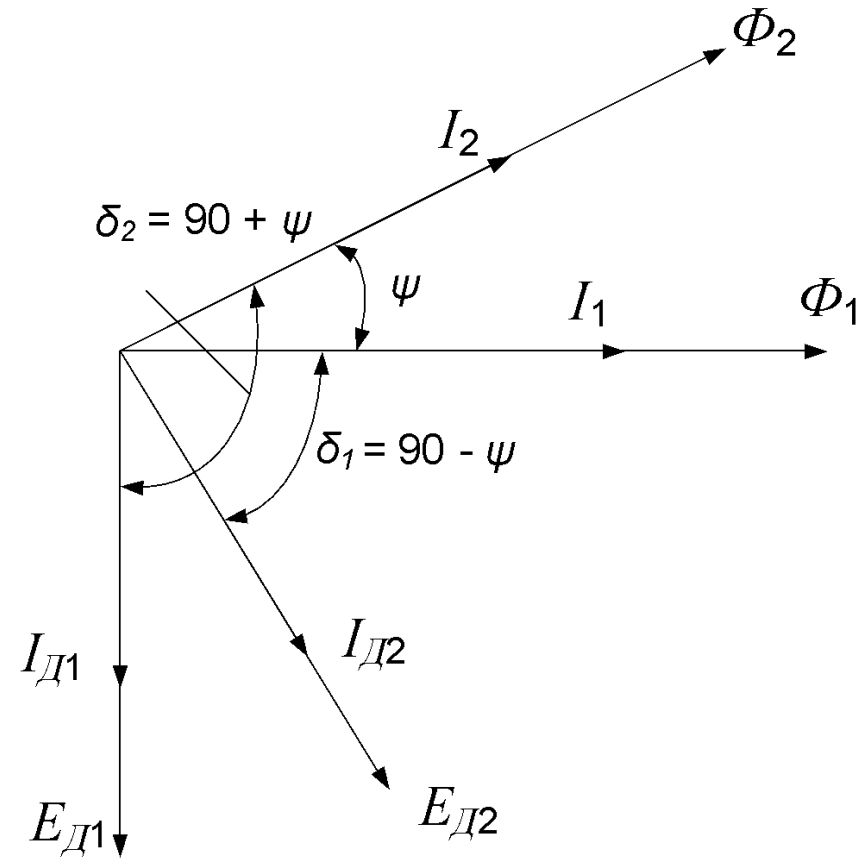
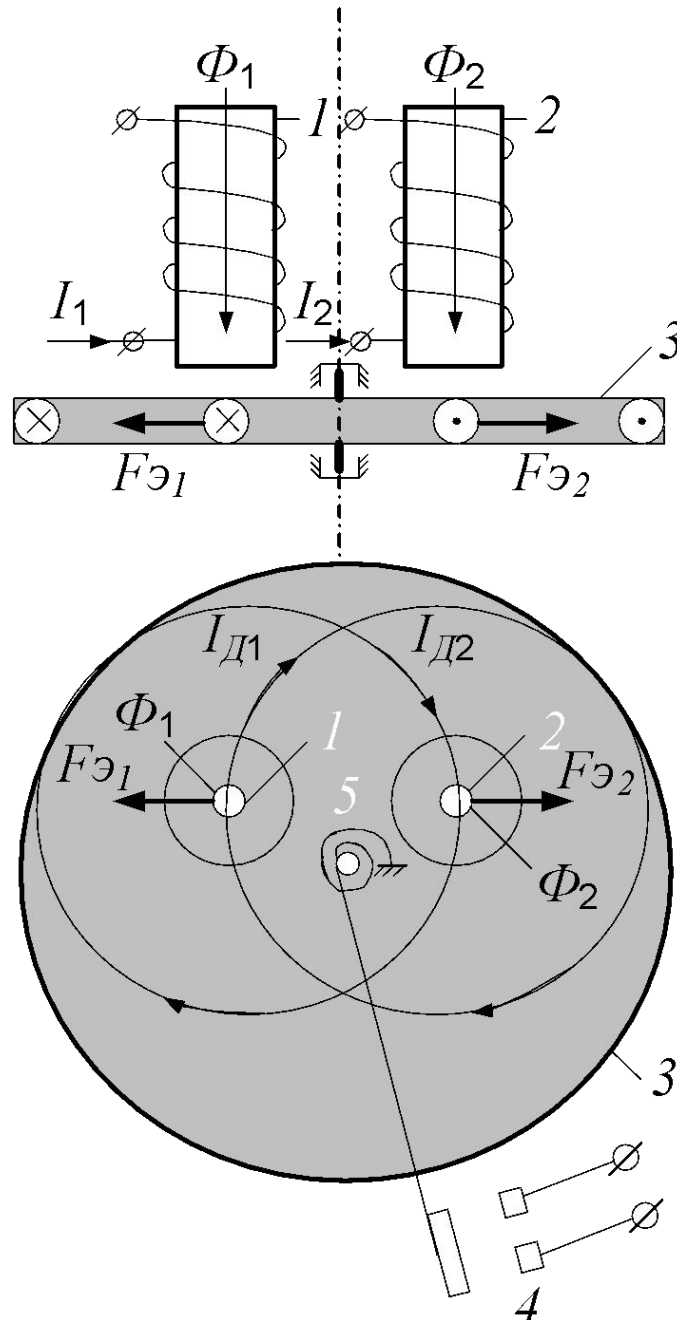
РНМ имеет две обмотки: одна питается напряжением U_p , а другая током I_p



Взаимодействие токов, проходящим по обмоткам, создает электромагнитный момент, величина и знак которого зависят от напряжения U_p , тока I_p и угла сдвига φ_p между ними. Чувствительность РНМ оценивается минимальной мощностью, при которой реле замыкает свои контакты.

Эта мощность называется мощностью срабатывания $S_{с.р.}$.

Принцип действия индукционного реле



Подвижный из алюминия или меди диск 3 находится в поле двух магнитных потоков Φ_1 и Φ_2 , которые создаются переменными токами, протекающими по обмоткам неподвижных электромагнитов 1 и 2. При вращении против часовой стрелки диск преодолевает момент пружины 5 и замыкает контакты 4.

Можно считать, что потоки и токи совпадают по фазе.

Пронизывая диск 3 магнитные потоки Φ_1 и Φ_2 наводят в диске ЭДС $E_{д1}$ и $E_{д2}$, которые отстают по фазе от вызвавших их потоков на 90 градусов согласно закону электромагнитной индукции. Под действием этих же потоков в диске создаются вихревые токи $I_{д1}$ и $I_{д2}$, замыкающиеся вокруг оси индуктирующего их магнитного потока и, можно считать, совпадающие с соответствующими ЭДС по фазе.

Известно, что между магнитным потоком и током, находящимся в его поле, возникают электромагнитные силы взаимодействия.

В данном случае это электромагнитные силы соответственно $F_{\varepsilon 1}$ и $F_{\varepsilon 2}$. Мгновенное значение этих сил меняет свой знак в течение периода, а вращение диска зависит от знака среднего значения сил $F_{\varepsilon 1}$ и $F_{\varepsilon 2}$. Знак и направление каждой силы определяется углом сдвига фаз между магнитным потоком и взаимодействующим с ним током.

Силы образуют результирующую электромагнитную силу, равную их алгебраической сумме $F_{\varepsilon} = F_{\varepsilon 1} + F_{\varepsilon 2}$.

Результирующая сила создает вращающий момент

$M_{\varepsilon} = F_{\varepsilon} d$, где d – плечо силы F_{ε} . M_{ε} и F_{ε} приводят диск 3 в движение, который в зависимости от знака M_{ε} замыкает или размыкает контакты 4.

Таким образом, *принцип работы индукционного реле основан на взаимодействии двух мгновенных потоков с вихревыми токами, индуцируемыми в подвижной системе реле (диске).*

Реле имеет наибольший момент при сдвиге фаз магнитных потоков на 90 градусов ($\psi = 90^\circ$). При $\psi = 0$ реле не может работать, т.к. $M_{\Sigma} = 0$. Знак момента зависит от $\sin\psi$, т.е. от сдвига фаз между магнитными потоками Φ_1 и Φ_2 или создающими их токами I_1 и I_2 .

При значениях ψ в пределах 0-180° момент M_{Σ} положителен, а при ψ в пределах 180-360° он отрицателен. Соответственно и электромагнитная сила изменяет свое направление, а диск вращается в соответствии с ее направлением. F_{Σ} всегда направлена от оси опережающего магнитного потока к оси отстающего магнитного потока.

Время действия индукционных реле

Принцип действия индукционных реле позволяет выполнить их с выдержкой времени без применения специальных часовых механизмов.

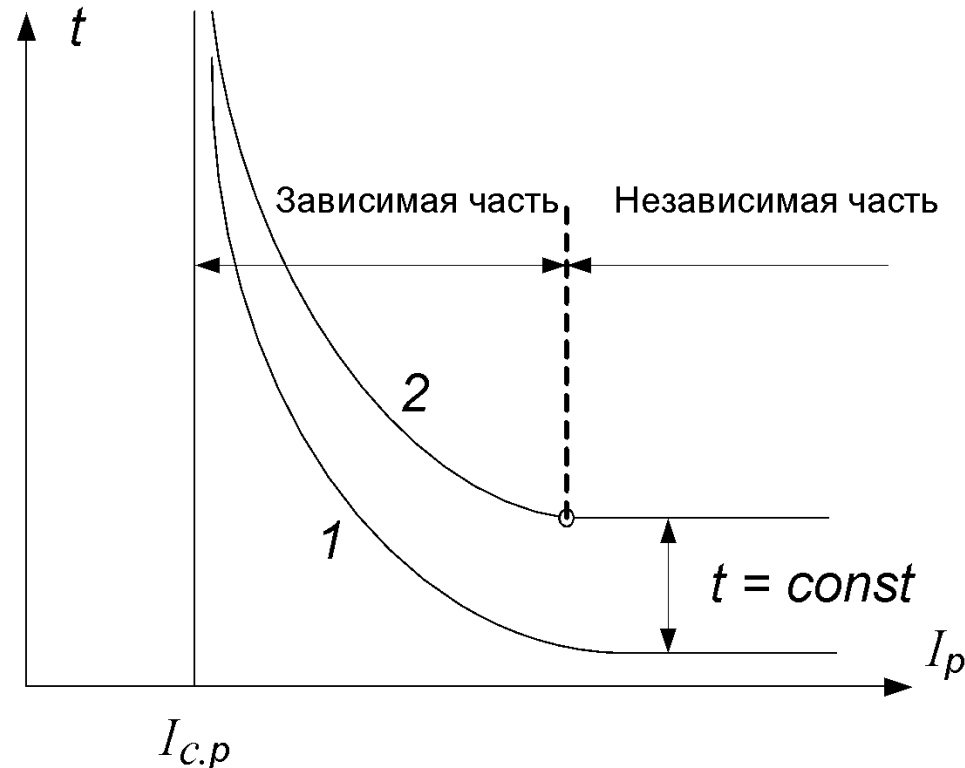
Время действия реле зависит от угла α , на который должен повернуться диск для замыкания контактов реле и угловой скорости движения диска ω_p . При постоянной скорости $t_p = \alpha / \omega_p$.

Движение диска происходит под влиянием избыточного момента

$M_{вр} = M_{\Sigma} - M_c$, представляющего собой разность электромагнитного момента и противодействующего ему момента сопротивления. $M_{вр}$ преодолевает момент инерции подвижной системы $Jd\omega/dt$, сообщая ей ускорение $d\omega/dt$, т.е.

$M_{вр} = Jd\omega/dt$. Чем больше избыточный момент $M_{вр}$, тем больше скорость вращения диска ω_p . С увеличением тока I_p в обмотке реле избыточный момент возрастает за счет увеличения электромагнитного момента, который пропорционален I_p^2 . В результате этого возрастает скорость ω_p и соответственно уменьшается время действия реле t_p .

Таким образом время действия индукционного реле обратно пропорционально увеличению тока. Такая характеристика времени действия реле называется зависимой (кривая 1).



На практике применяются токовые реле с ограниченно зависимой характеристикой ВВ (кривая 2). Ее особенность в том, что начиная с некоторого значения тока время действия реле не зависит от тока, т.е. остается постоянным.

Характеристика 2 обеспечивается за счет насыщения магнитопровода.

При этом увеличение тока I_p не вызывает увеличения магнитных потоков Φ_1 и Φ_2 , в результате чего избыточный момент и обуславленные им скорость вращения диска и ВВ остаются неизменными.

Для повышения ВВ устанавливается постоянный магнит, охватывающий своими полюсами диск. При вращении диск пересекает силовые линии магнитного потока постоянного магнита, в результате чего в нем наводятся токи «резания». От их взаимодействия возникает противодействующий момент, который уменьшает скорость ω_p и

соответственно увеличивает t_p .

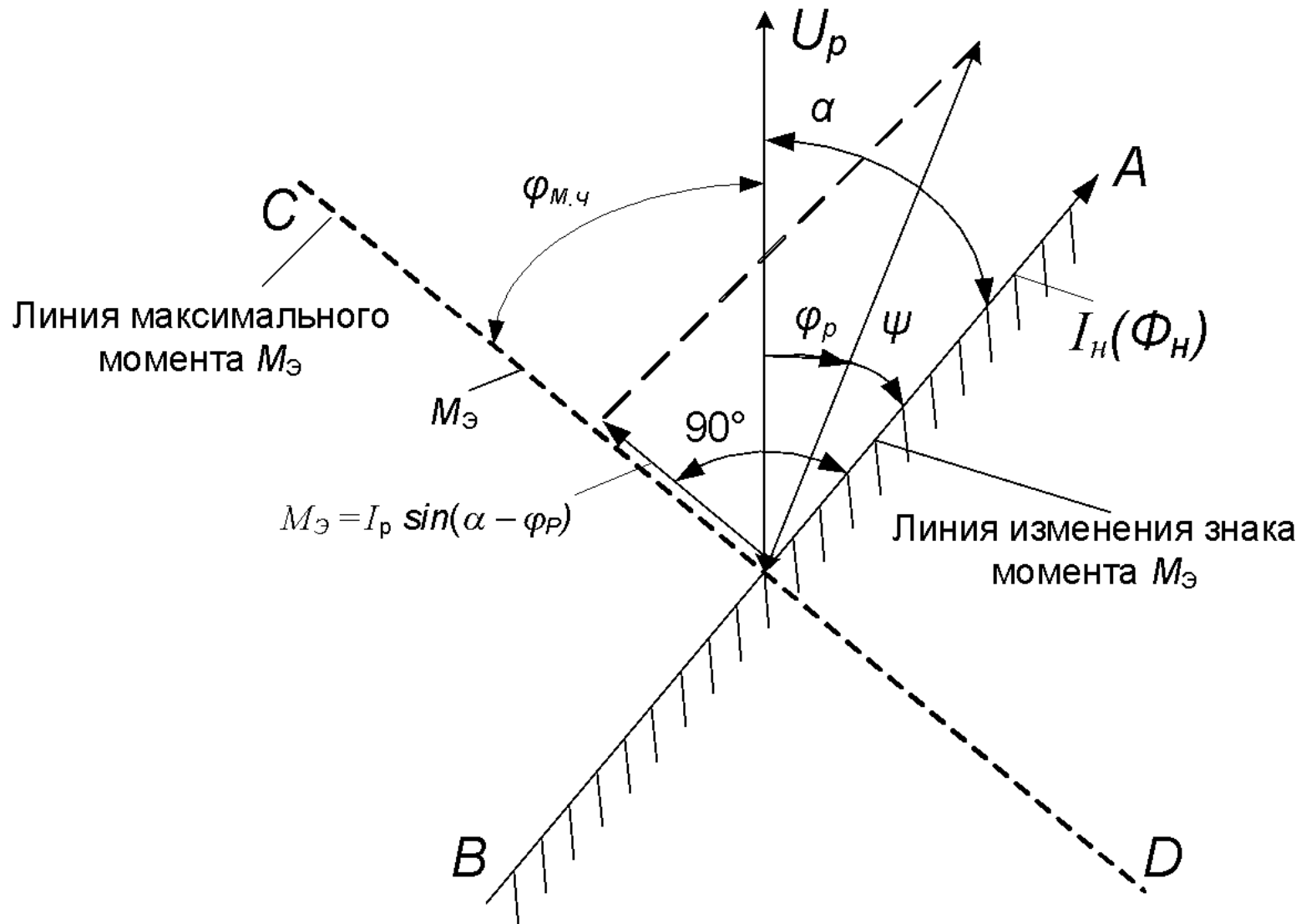
ВВ регулируется изменением расстояния между подвижным и неподвижным контактами.

Для увеличения скорости вращения применяется вместо диска цилиндр, что увеличивает ВВ с 0,1с до 0,02 -0,01с.

Инерционный выбег

Вращающийся диск после прекращения действия электромагнитной силы продолжает свое движение по инерции за счет накопленной кинетической энергии, что может привести к замыканию контактов после отключения КЗ в сети. Постоянный магнит снижает, но не исключает полностью инерционный выбег реле. Поэтому степень селективности защиты при выборе ВВ увеличивается на время инерционной ошибки.

Векторная диаграмма РНМ



Исходным для ее построения принимается вектор напряжения U_p . Ток I_H сдвинут по фазе относительно напряжения U_p на угол α , а ток I_p – на угол φ_p .

Угол α определяется индуктивным и активным сопротивлением обмотки напряжения и называется *углом внутреннего сдвига* реле. Магнитные потоки Φ_H и Φ_T *совпадают с создающими их токами I_H и I_p* . Из векторной диаграммы следует, что поток Φ_H и Φ_T , а также и токи I_H и I_p сдвинуты по фазе на угол $\Psi = \alpha - \varphi_p$ и что угол Ψ меняется с изменением φ_p .

Имея ввиду, что $\Phi_H \equiv I_H \equiv U_H$, $\Phi_T \equiv I_p$, а $\Psi = \alpha - \varphi_p$, имеем

$$M_{\Sigma} = k_1 U_p I_p \sin(\alpha - \varphi_p) = k_1 S_p ,$$

где $S_p = U_p I_p \sin(\alpha - \varphi_p)$ – мощность, подведенная к реле. Знак M_{Σ} определяется знаком $\sin(\alpha - \varphi_p)$ и зависит от значения φ_p . Синус, а следовательно, и M_{Σ} положительны, когда угол $\Psi \neq \alpha - \varphi_p$ находится в пределах $0 - 180^\circ$, и отрицательны, если Ψ меняется от 180 до 360° .

На диаграмме зона отрицательных моментов заштрихована. За положительное направление момента M_{Σ} принято его действие против часовой стрелки – на замыкание контакта. Незаштрихованная часть диаграммы соответствует области положительных моментов, где Φ_T опережает Φ_H а Ψ и его синус имеют положительный знак. Линия АВ называется *линией изменения знаков момента* и всегда расположена под углом α к вектору U_p , т.е. совпадает с вектором I_H .

При Φ_T , опережающем поток Φ_H , момент M_Σ положителен, а при отстающем – отрицателен.

Линия CD называется линией максимальных моментов M_Σ .

Угол φ_p , при котором M_Σ достигает максимального значения называется углом максимальной чувствительности $\varphi_{м.ч}$.

РНМ не действует, если отсутствуют напряжение или ток в реле или если $\sin(\alpha - \varphi_p) = 0$, что имеет место при $\varphi_p = \alpha$ и $\varphi_p = \alpha + 180^\circ$.

Три типа реле направления мощности

Изменяя величину угла внутреннего сдвига реле α , можно получить три типа РНМ различающихся характером зависимости M_{Σ} от φ_p .

1. При $\alpha = 0$

$$M_{\Sigma} = k_1 U_p I_p \sin \varphi_p,$$

т.е. M_{Σ} пропорционален реактивной мощности, измеренной на зажимах реле.

Такие реле называются *синусными* или *реле направления реактивной мощности*.

Реле имеет максимальный вращающий момент при $\varphi_p = 90^\circ$;

при $\varphi_p = 0$ момент M_{Σ} равен нулю.

Зоны положительных и отрицательных вращающих моментов и линия изменения знака моментов реле (АВ) приведены на рис.

2. При $\alpha = 90^\circ$

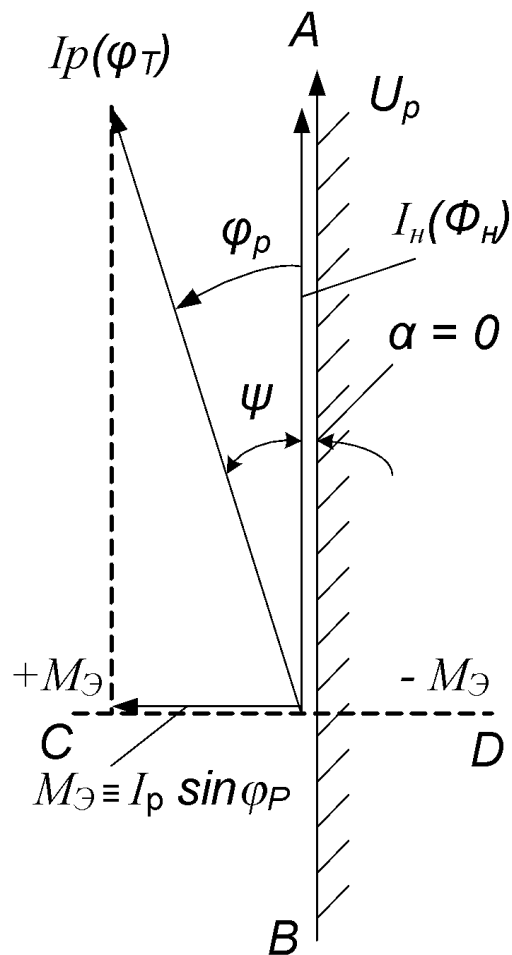
$$M_{\Sigma} = kU_p I_p \sin(90^\circ - \varphi_p) = kU_p I_p \cos\varphi_p ,$$

т.е. момент реле пропорционален активной мощности, подводимой к реле.

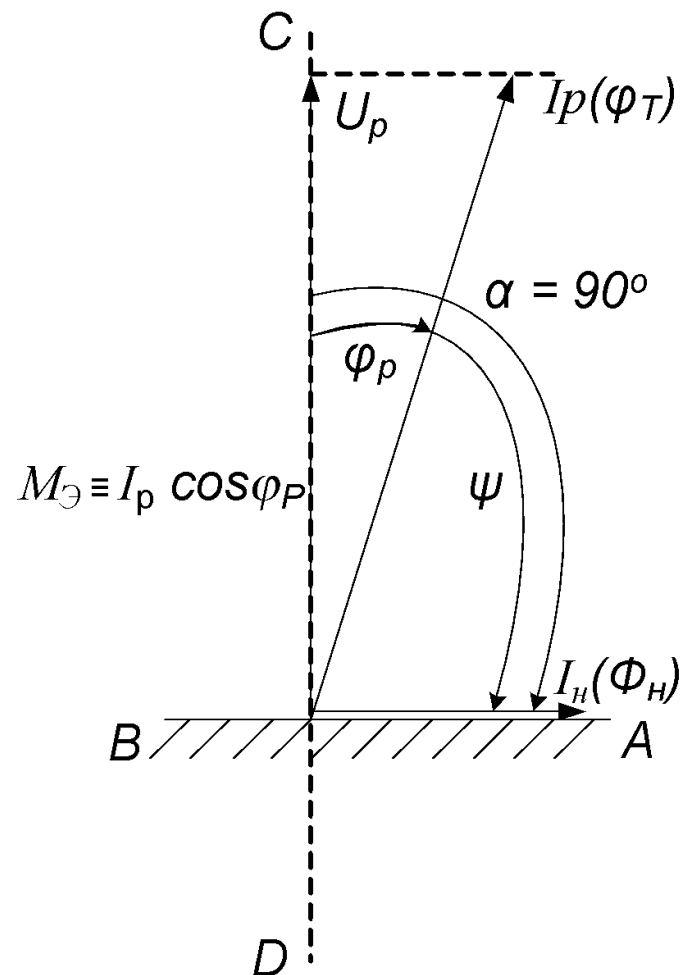
Такие реле называются

реле активной мощности или косинусными.

Векторные диаграммы РНМ синусного а) и косинусного б) типов



а)



б)

3. При промежуточном значении угла $0 < \alpha_1 < 90^\circ$

$$M_{\Sigma} = k_1 U_p I_p \sin(\alpha_1 - \varphi_p).$$

Такое реле, реагирующее на некоторую долю активной и реактивной мощности, называется *реле мощности смешанного типа*.

Основные характеристики РНМ

Мощность срабатывания $S_{\text{ср}}$ – наименьшая мощность на зажимах реле, при которой оно срабатывает.

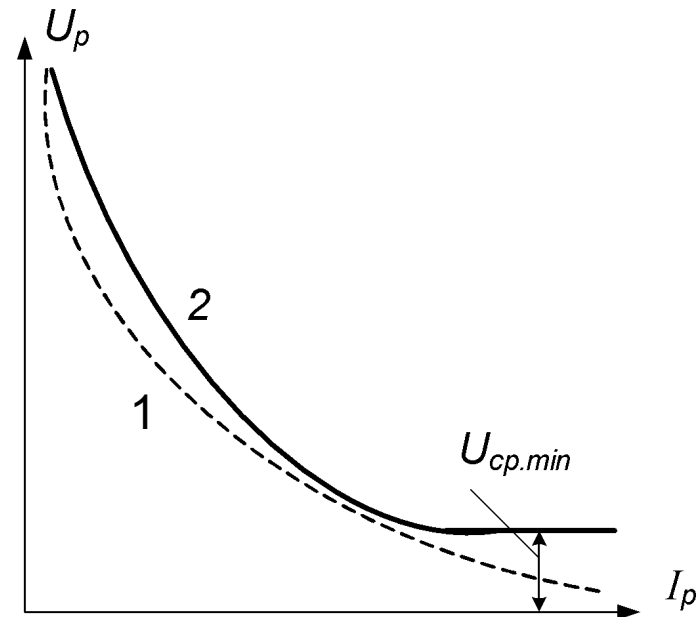
Срабатывание реле происходит при условии, что $M_{\text{э}}$ преодолевает сопротивление пружины $M_{\text{п}}$ и трения $M_{\text{т}}$.

У современных РНМ при угле максимальной чувствительности, когда $\sin(\alpha - \varphi_p) = 1$, $S_{\text{ср}} = (0,2 - 4)$ ВА.

Характеристика чувствительности - зависимость $U_{\text{ср}} = f(I_p)$ при неизменном φ_p , где $U_{\text{ср}}$ – наименьшее напряжение, необходимое для действия реле (при данных значениях I_p и φ_p).

Характеристика снимается при φ_p , равном углу максимальной чувствительности.

В реальности за счет насыщения стали магнитопровода при больших токах I_p напряжение $U_{\text{ср}} = \text{const}$.

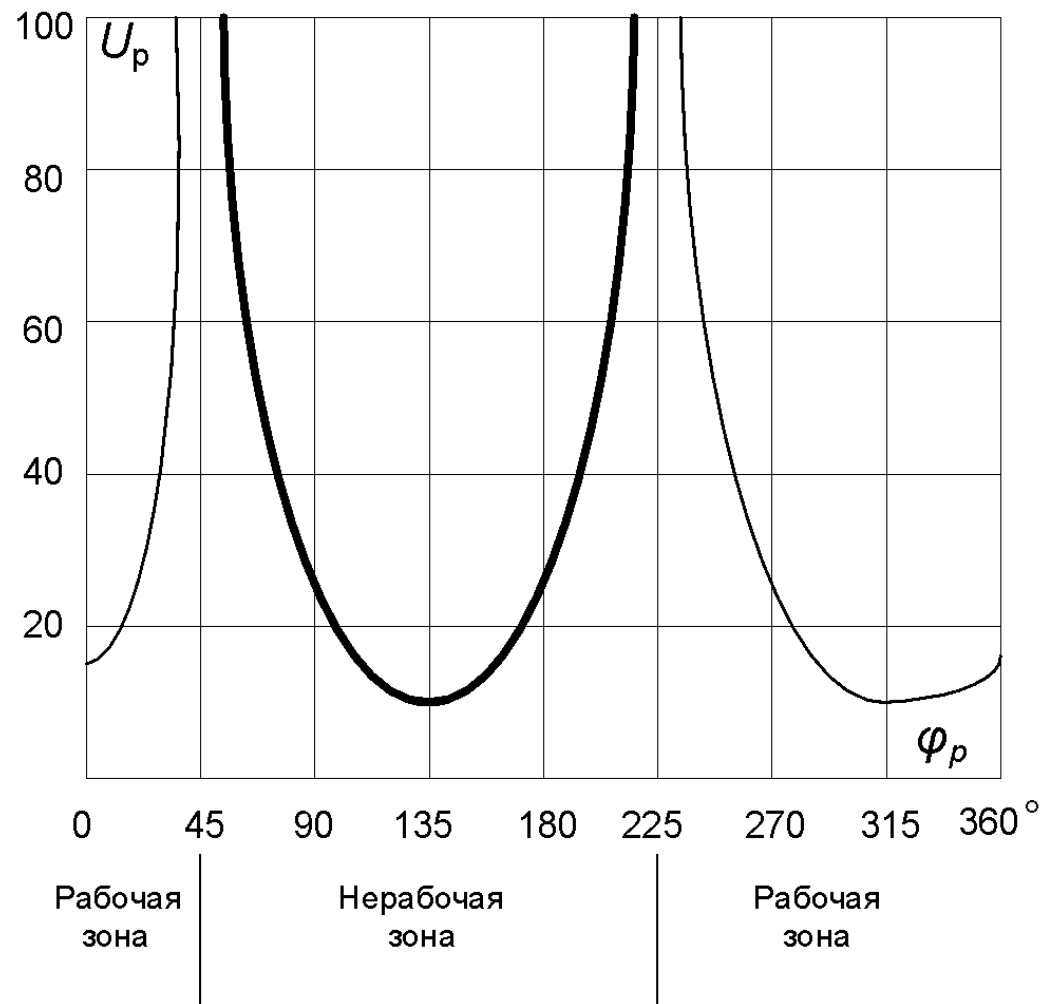


1-теоретическая;
2-действительная

Угловая характеристика представляет собой зависимость $U_{\text{ср}} = f(\varphi_p)$ при неизменном I_p . Она может быть получена из выражения

$$M_{\text{э}} = k_1 U_p I_p \sin(\alpha - \varphi_p) = k_1 S_p$$

при фиксированных значениях I_p и α .



Угловая характеристика РНМ смешанного типа при $\alpha = 45^\circ$

- а) изменение чувствительности реле (характеризуемое величиной $U_{\text{ср}}$) при разных углах φ_p ;
- б) минимальную величину $U_{\text{ср.мин}}$ и наиболее выгодную зону углов φ_p , в пределах которой $U_{\text{ср}}$ близко $U_{\text{ср.мин}}$;
- в) при каких углах φ_p меняется знак электромагнитного момента и пределы углов φ_p , которым соответствуют положительные и отрицательные моменты.

Время действия РНМ зависит от величины мощности на зажимах реле, характеризуемой отношением $S_p/S_{\text{ср}}$.



При мощности S_p , близких к $S_{\text{ср}}$, ВВ достаточно велики и только при $S_p/S_{\text{ср}} > 3-4$ реле работает с минимальным временем.