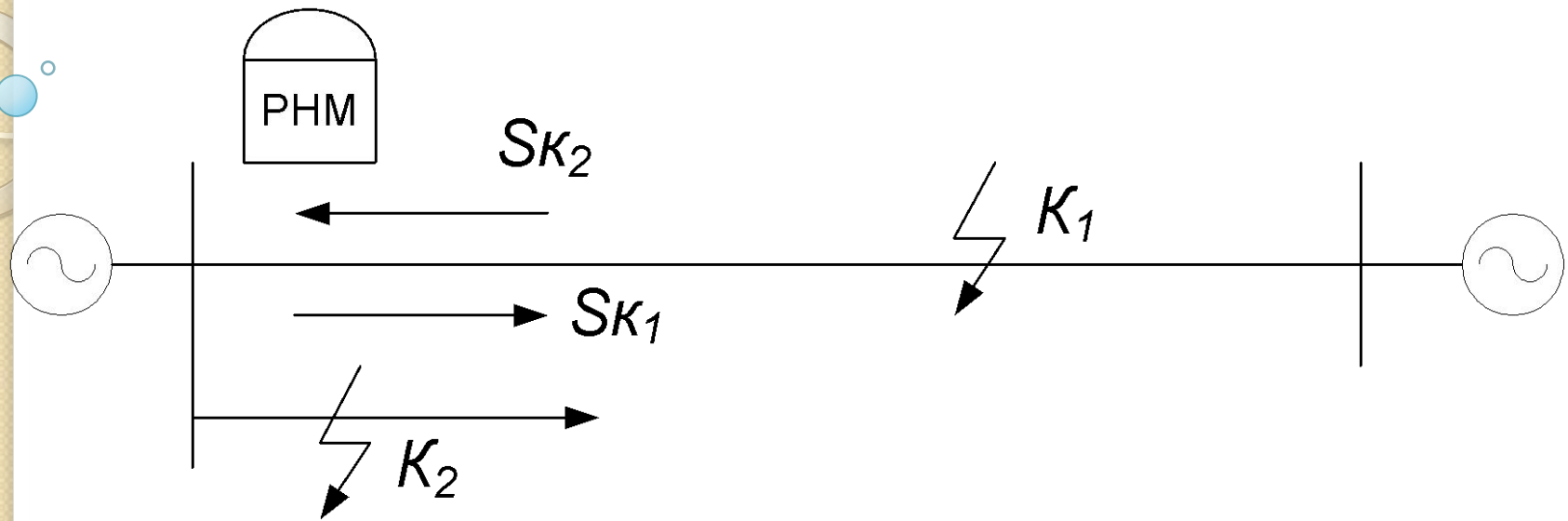




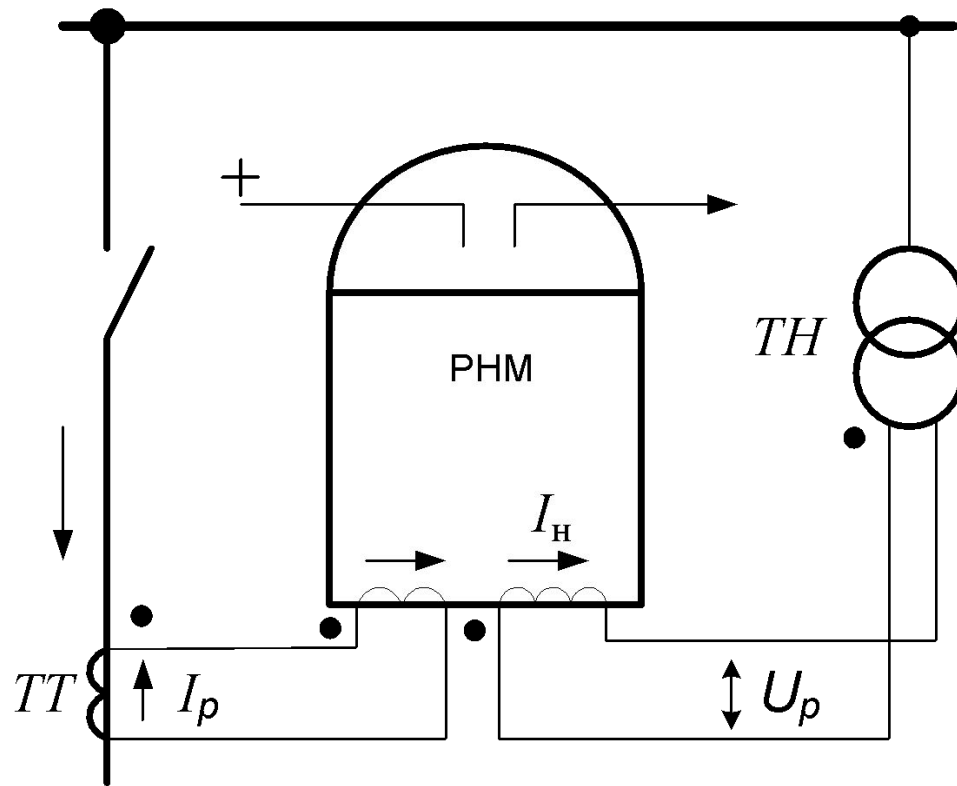
# **Реле направления мощности**

## Функция РНМ



В первом случае  $S_{K1}$  направлена от шин в линию и РНМ должно замыкать свои контакты, во втором –  $S_{K2}$  направлена к шинам и РНМ не должно замыкать контакты.

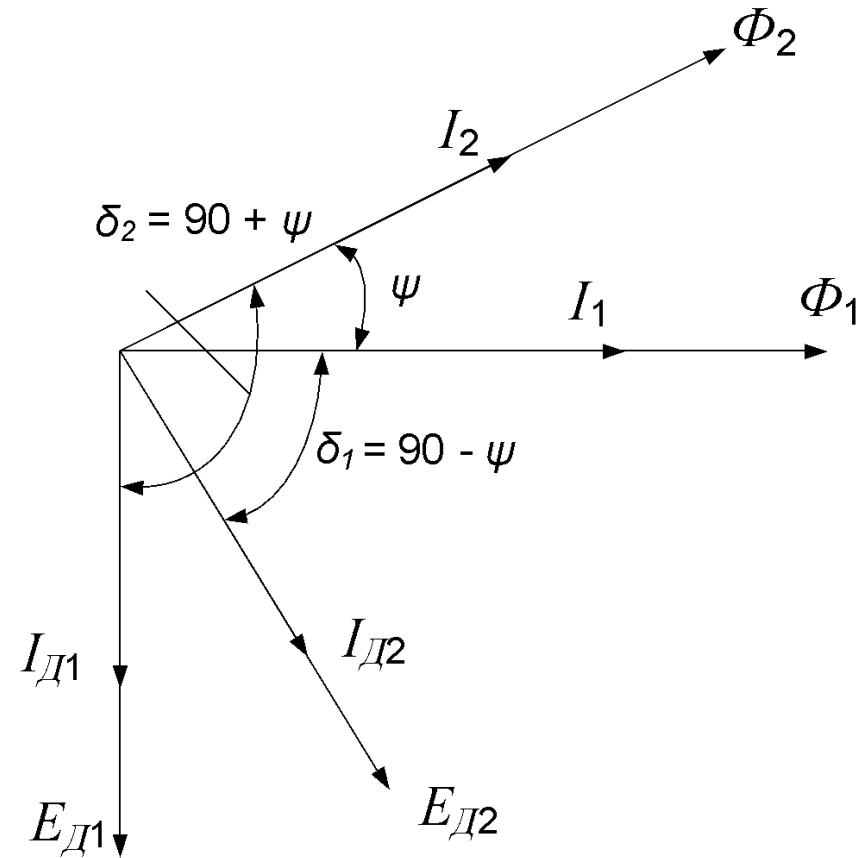
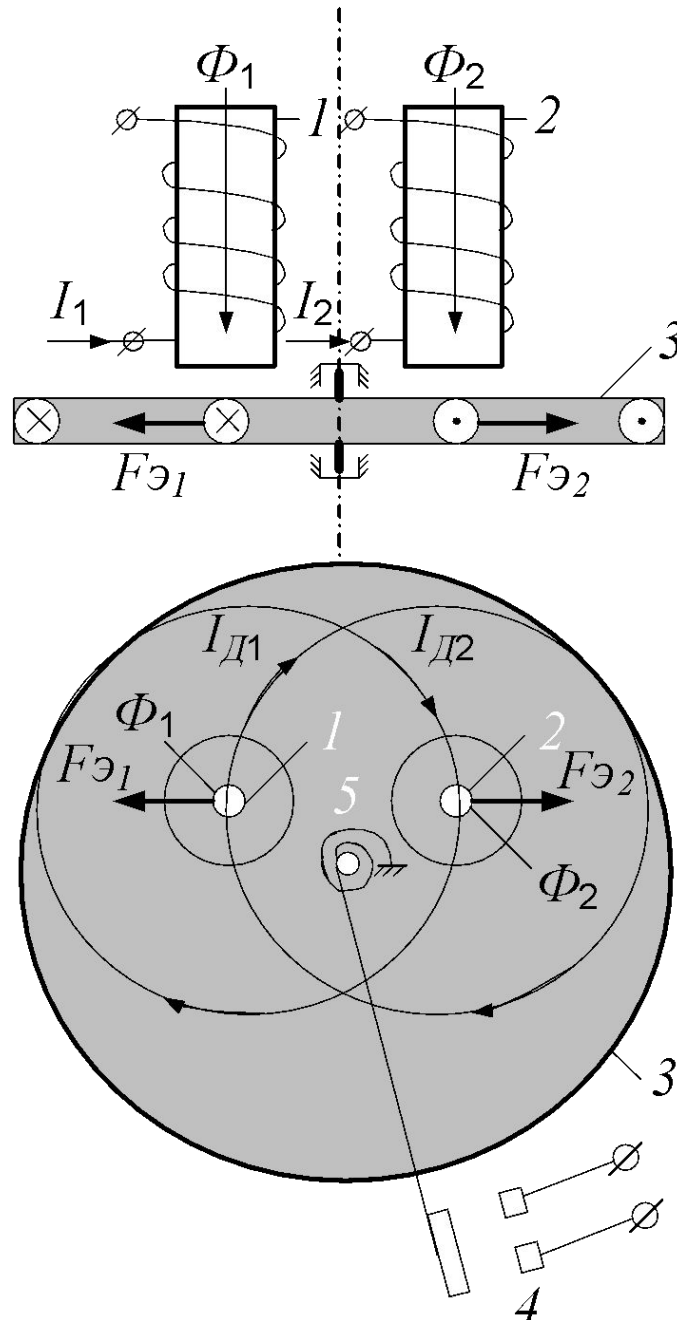
РНМ имеет две обмотки: одна питается напряжением  $U_p$ , а другая током  $I_p$



Взаимодействие токов, проходящим по обмоткам, создает электромагнитный момент, величина и знак которого зависят от напряжения  $U_p$ , тока  $I_p$  и угла сдвига  $\varphi_p$  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  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$ , 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  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$  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  $F_{\text{Э}1}$  и  $F_{\text{Э}2}$ . Мгновенное значение этих сил меняет свой знак в течение периода, а вращение диска зависит от знака среднего значения сил  $F_{\text{Э}1}$  и  $F_{\text{Э}2}$ . 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  $F_{\text{Э}} = F_{\text{Э}1} + F_{\text{Э}2}$ .

Результирующая сила создает вращающий момент

$M_{\text{Э}} = F_{\text{Э}} d$ , где  $d$  – плечо силы  $F_{\text{Э}}$ .  $M_{\text{Э}}$  и  $F_{\text{Э}}$  приводят диск 3 в движение, который в зависимости от знака  $M_{\text{Э}}$  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.  $M_{\text{э}} = 0$ . Знак момента зависит от  $\sin\psi$ , т.е. от сдвига фаз между магнитными потоками  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$  или создающими их токами  $I_1$  и  $I_2$ .

При значениях  $\psi$  в пределах 0-180° момент  $M_{\text{э}}$  положителен, а при  $\psi$  в пределах 180-360° он отрицателен. Соответственно и электромагнитная сила изменяет свое направление, а диск вращается в соответствии с ее направлением.  $F_{\text{э}}$  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  $\alpha$ , на который должен повернуться диск для замыкания контактов реле и угловой скорости движения диска  $\omega_p$ . При постоянной скорости  $t_p = \alpha / \omega_p$ .

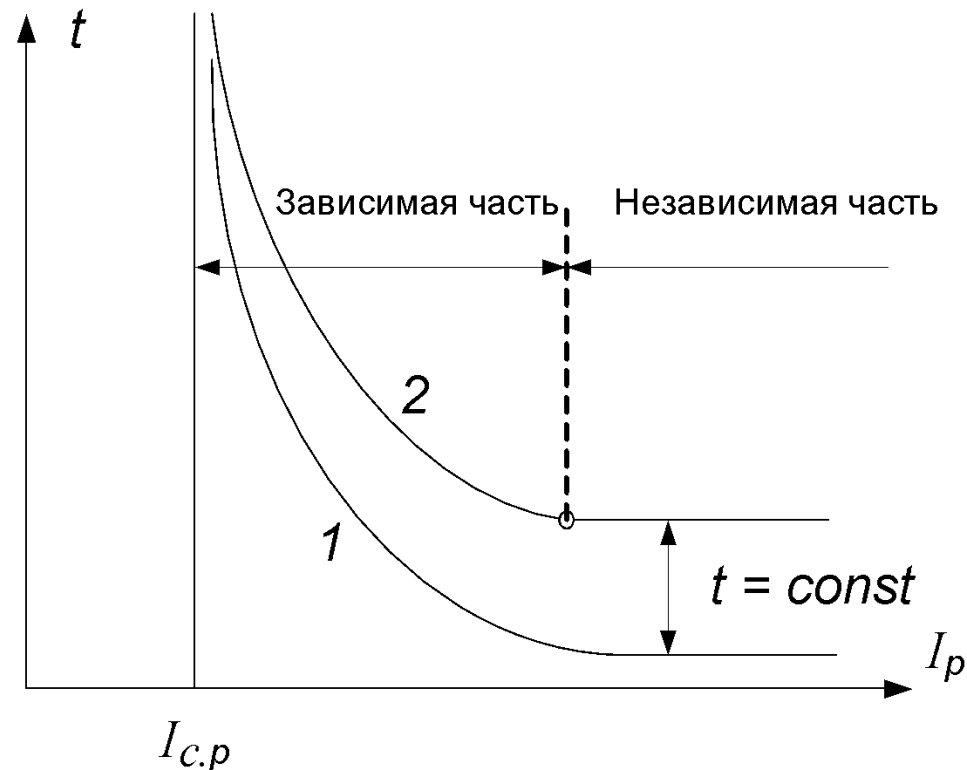
Движение диска происходит под влиянием избыточного момента

$M_{вр} = M_{\mathcal{E}} - M_c$ , 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  $\omega_p$ . 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  $\omega_p$  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  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$ , 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  $\omega_p$  и

соответственно увеличивает  $t_p$ .

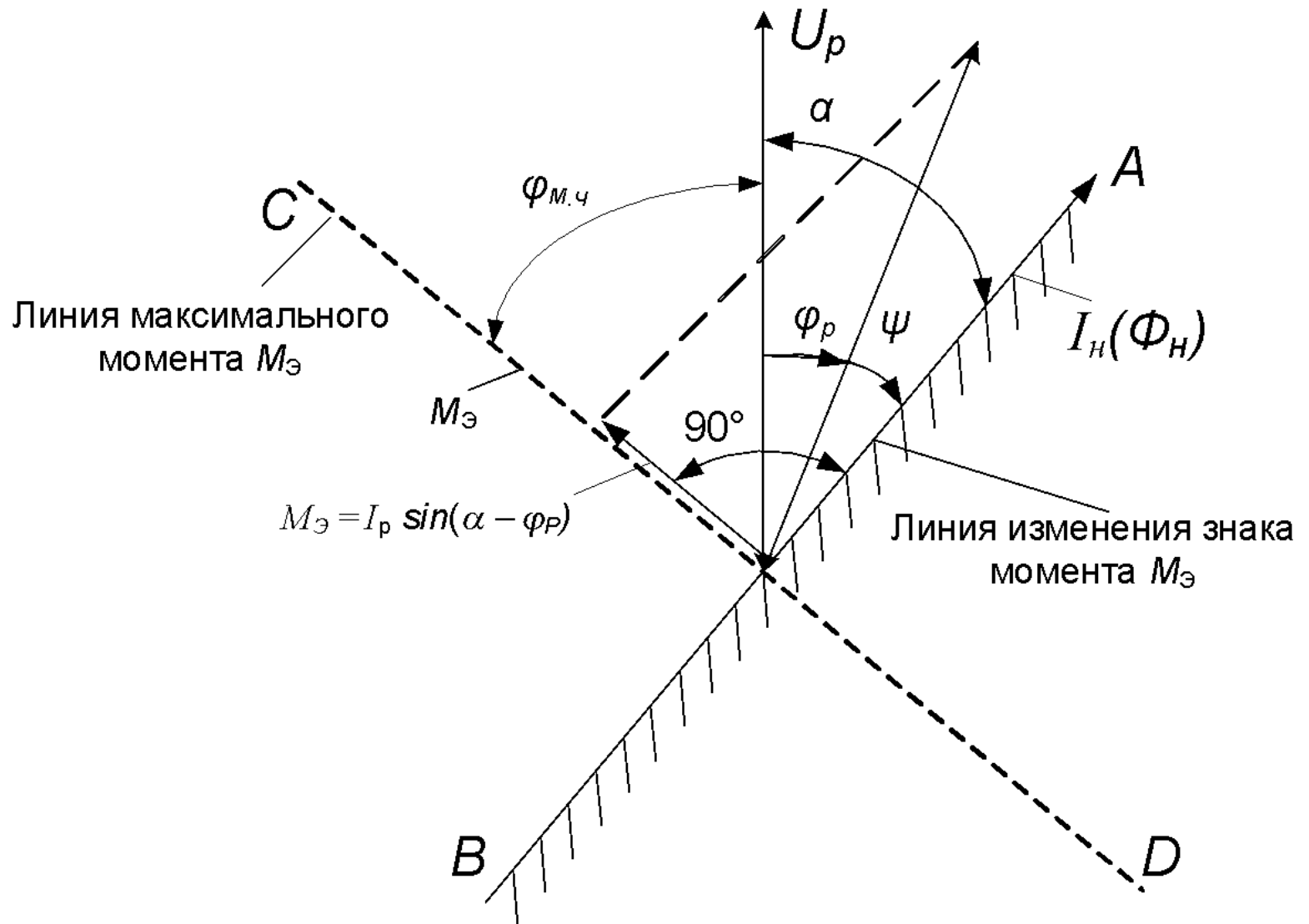
ВВ регулируется изменением расстояния между подвижным и неподвижным контактами.

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  $\alpha$ , а ток  $I_p$  – на угол  $\varphi_p$ .

Угол  $\alpha$  определяется индуктивным и активным сопротивлением обмотки напряжения и называется *углом внутреннего сдвига* реле. Магнитные потоки  $\Phi_H$  и  $\Phi_T$  совпадают с создающими их токами  $I_H$  и  $I_p$ . Из векторной диаграммы следует, что поток  $\Phi_H$  и  $\Phi_T$ , а также и токи  $I_H$  и  $I_p$  сдвинуты по фазе на угол

$\Psi = \alpha - \varphi_p$  и что угол  $\Psi$  меняется с изменением  $\varphi_p$ .

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

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

где  $S_p = U_p I_p \sin(\alpha - \varphi_p)$  – мощность, подведенная к реле.

Знак  $M_{\mathcal{E}}$  определяется знаком  $\sin(\alpha - \varphi_p)$  и зависит от значения  $\varphi_p$ . Синус, а следовательно, и  $M_{\mathcal{E}}$  положительны, когда угол  $\Psi \neq \alpha - \varphi_p$  находится в пределах  $0 - 180^\circ$ , и отрицательны, если  $\Psi$  меняется от  $180$  до  $360^\circ$ .

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

При  $\Phi_T$ , опережающем поток  $\Phi_H$ , момент  $M_\Sigma$  положителен, а при отстающем – отрицателен.

Линия  $CD$  называется линией максимальных моментов  $M_\Sigma$ .

Угол  $\varphi_p$ , при котором  $M_\Sigma$  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  $\alpha$ , можно получить три типа РНМ различающихся характером зависимости  $M_{\Sigma}$  от  $\varphi_p$ .

1. При  $\alpha = 0$

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

т.е.  $M_{\Sigma}$  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  $M_{\Sigma}$  равен нулю.

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

2. При  $\alpha = 90^\circ$

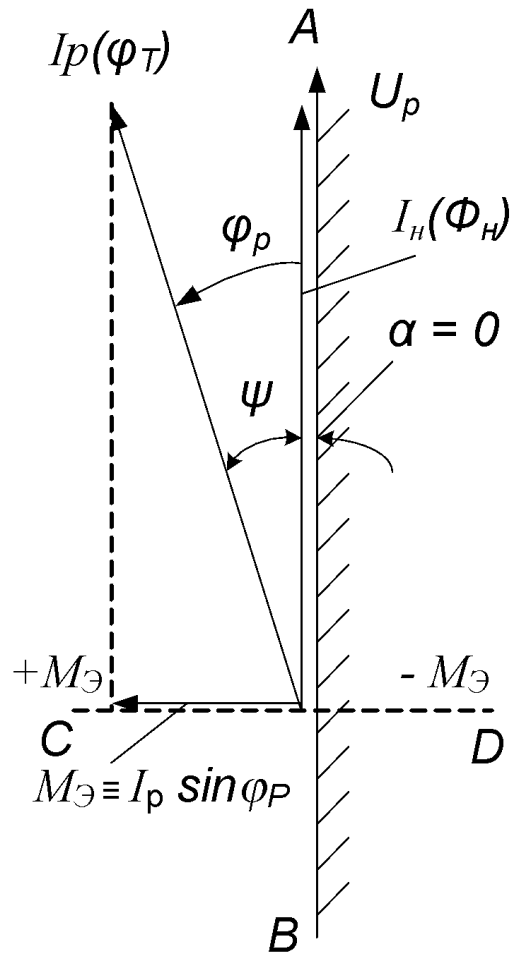
$$M_{\text{Э}} = kU_p I_p \sin(90^\circ - \varphi_p) = kU_p I_p \cos\varphi_p,$$

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

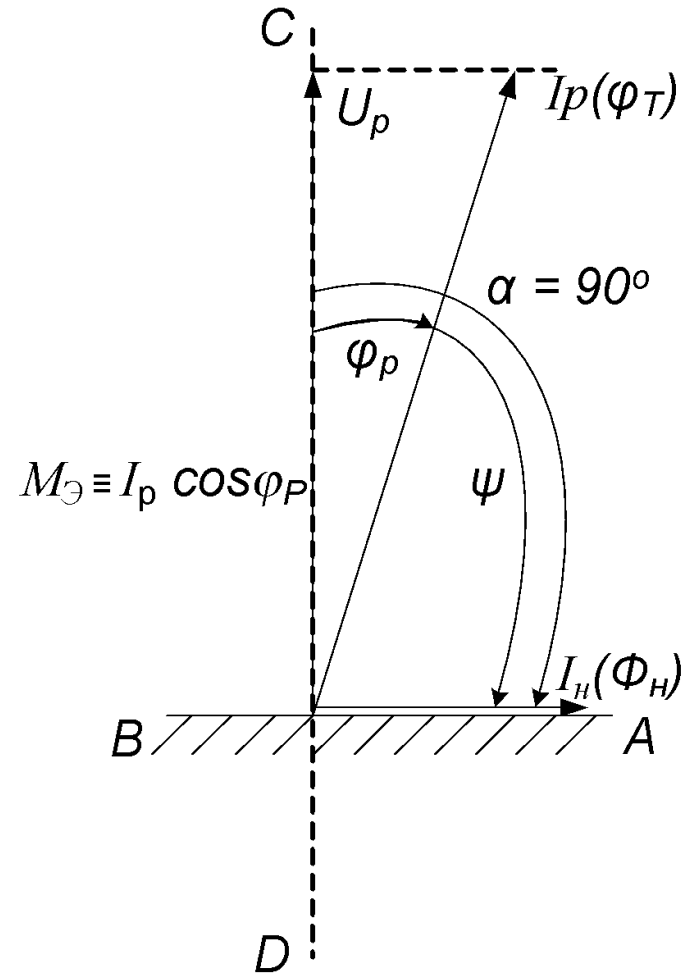
Такие реле называются

*реле активной мощности или косинусными.*

# Векторные диаграммы РНМ синусного а) и косинусного б) типов



а)



б)

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

$$M_{\text{Э}} = k_1 U_{\rho} I_{\rho} \sin(\alpha_1 - \varphi_{\rho}).$$

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.

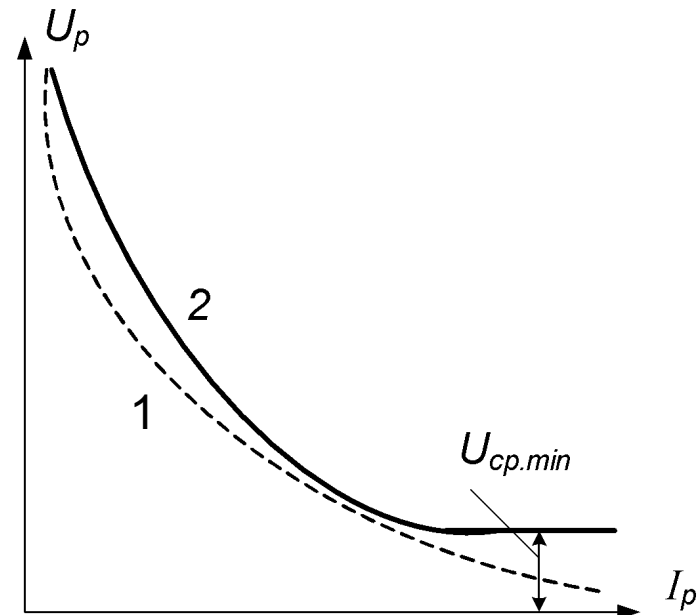
Срабатывание реле происходит при условии, что  $M_{\text{э}}$  преодолевает сопротивление пружины  $M_{\text{п}}$  и трения  $M_{\text{т}}$ .

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

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

Характеристика снимается при  $\varphi_{\rho}$ , равном углу максимальной чувствительности.

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

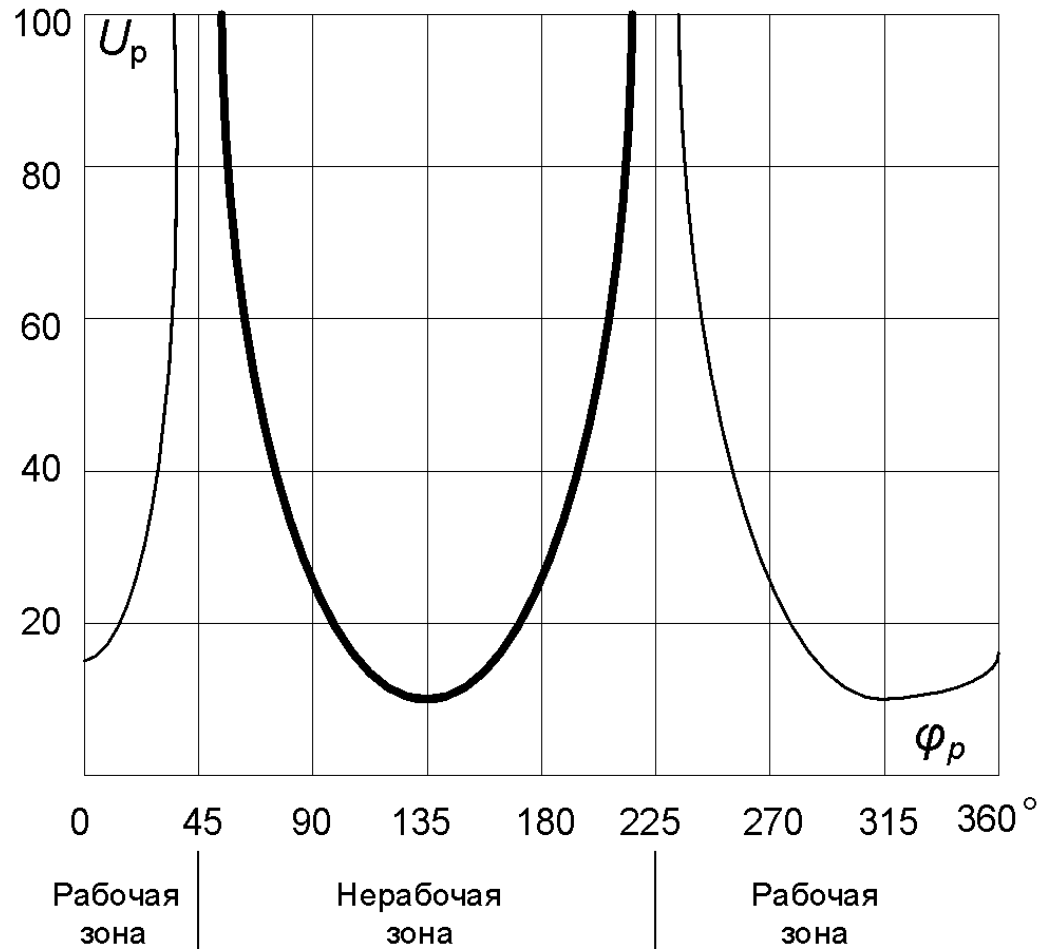


1-теоритическая;  
2-действительная

**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  $\alpha$ .



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

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