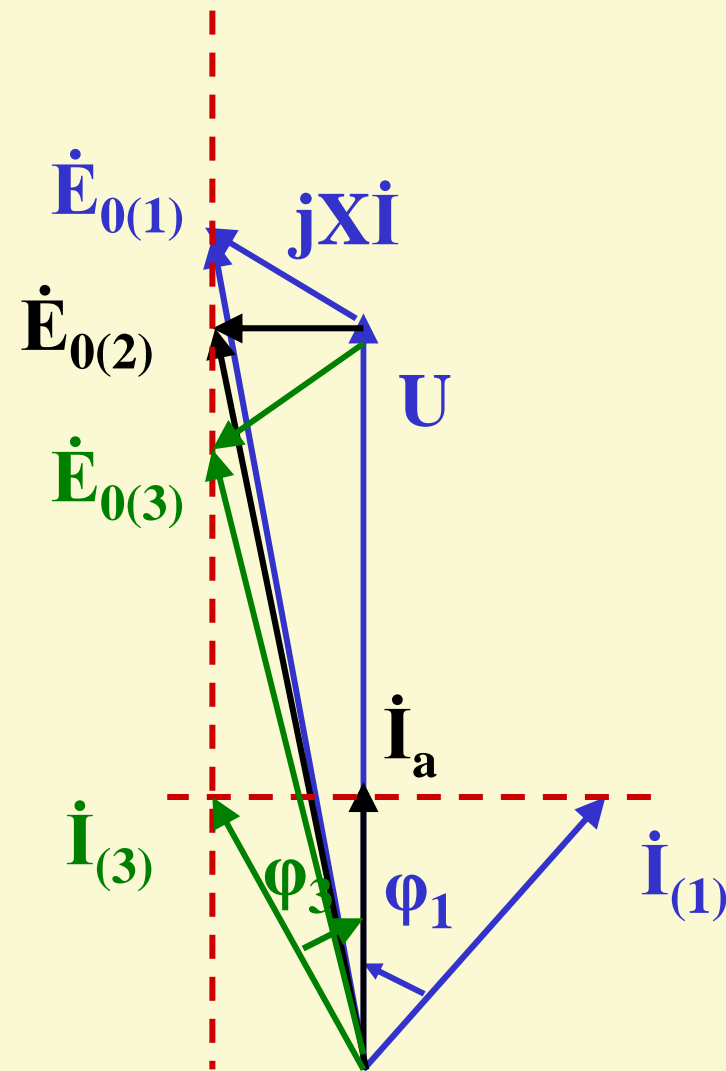


# Синхронные машины

# Регулирование реактивной мощности СГ

## V-образные характеристики

Рассмотрим влияние тока возбуждения на работу включенного в сеть СГ при постоянном  $M_{вр}$ . Построим три векторные диаграммы генератора для различных токов возбуждения.



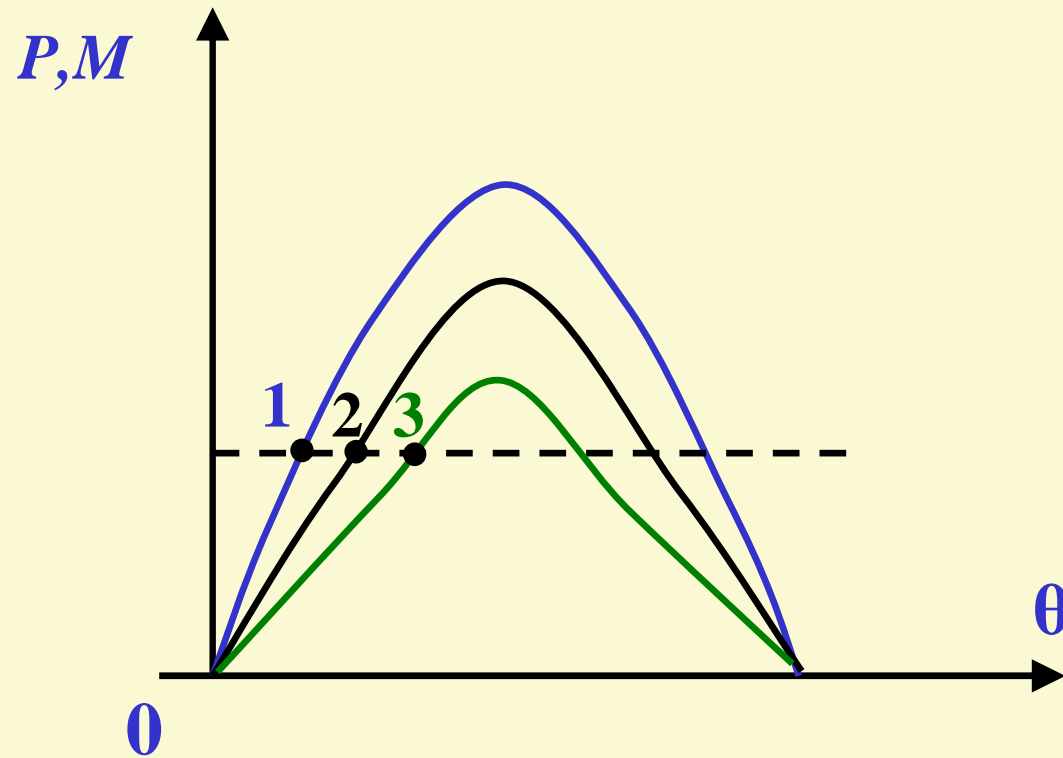
1.  $E_{0(1)} > U$

2.  $\dot{I} = \dot{I}_a$

3.  $E_{0(3)} < U$

**Изменение тока возбуждения ротора СГ приводит к изменению характера реактивной мощности: при большом токе ротора (при перевозбуждении) реактивная мощность имеет индуктивный характер, при недо возбуждении – емкостной характер.**

# Угловые характеристики

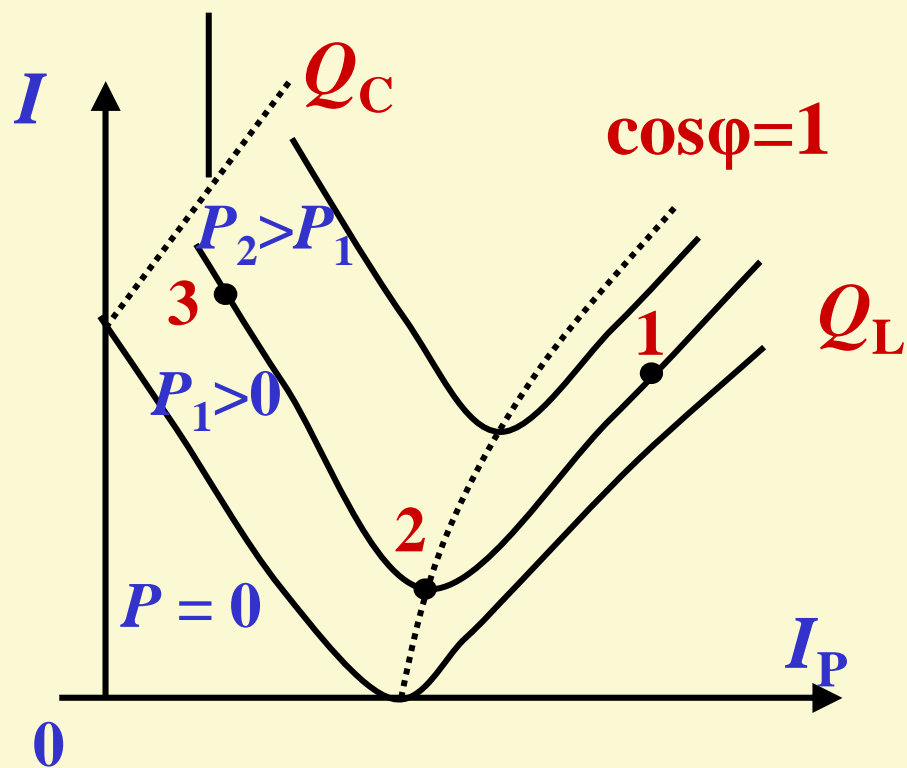


Активная  
мощность от  
тока  
возбуждения  
не зависит

## **V-образные характеристики**

**- зависимость тока статора от тока возбуждения ротора при постоянной активной мощности. Показывают возможность регулирования реактивной мощности.**

Граница устойчивости



Минимумы кривых  
соответствуют чисто  
активным токам статора.

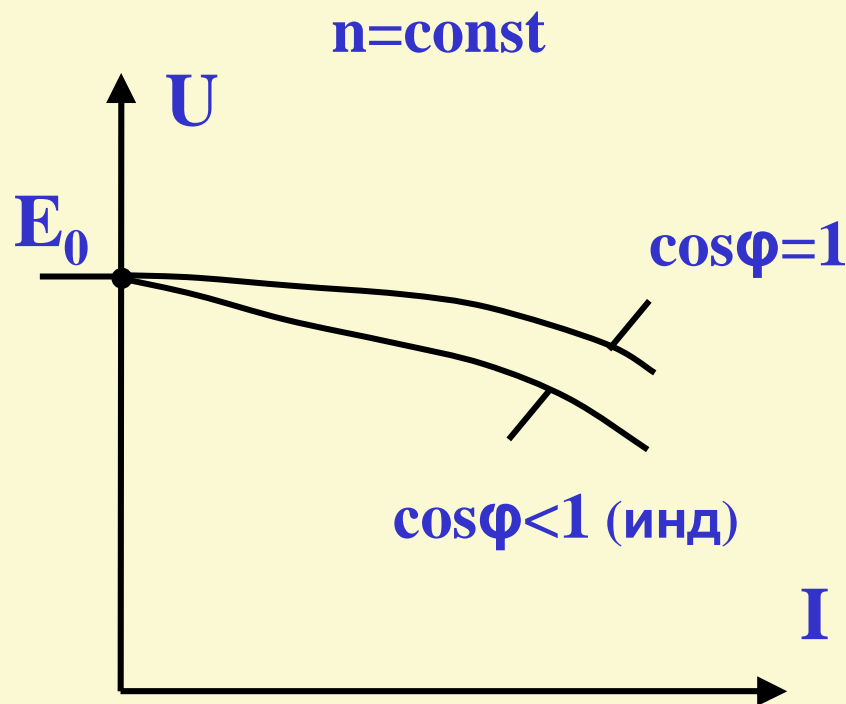
Левее пунктирной  
кривой, ток имеет  
емкостную реактивную  
составляющую, правее –  
индуктивную реактивную  
составляющую.

## **Работа СГ в автономном режиме**

**Используется для обеспечения электроэнергией различных потребителей в местах, удаленных от мощной электрической сети (обычно приводится во вращение двигателем внутреннего сгорания).**



# Внешняя характеристика



При работе генератора в автономном режиме напряжение на его зажимах зависит от тока и характера нагрузки. Изменение напряжения, которое может достигать нескольких десятков процентов, объясняется большим внутренним индуктивным сопротивлением СМ.

Для стабилизации  $U$  необходимо регулировать ток возбуждения (автоматические регуляторы возбуждения). Изменение тока возбуждения приводит к изменению  $U$  и тока статора, но не  $\cos\varphi$ . Следовательно, *автономный синхронный генератор не обладает свойством регулирования реактивной мощности. Она целиком определяется характером приемника.*

**Изменение сопротивления нагрузки влияет не только на  $U$ , но и на  $n$ .**

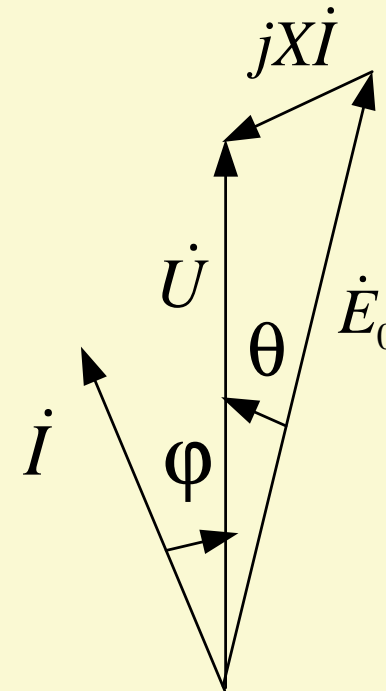
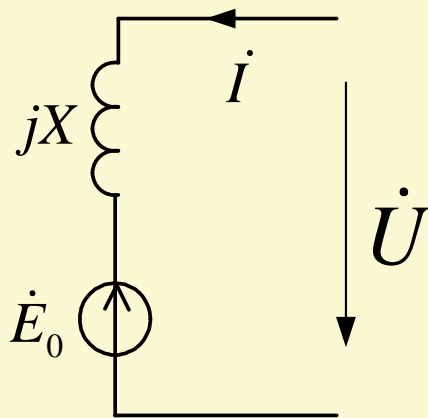
**$I_a \uparrow \Rightarrow M_T \uparrow \Rightarrow n \downarrow \Rightarrow E_0 \downarrow \Rightarrow I_a \downarrow$  пока**

$$M_{BR} = M_T$$

**Генератор автоматически «сбрасывает» дополнительную активную нагрузку. В новом режиме значение  $U$  и  $n$  оказываются меньше, что неблагоприятно отражается на условиях работы нагрузочного устройства. Для поддержания частоты вращения ротора и напряжения постоянными, приводной двигатель снабжается автоматическим регулятором момента.**

# Схема замещения и угловые характеристики синхронного двигателя

СД – это активный приемник, имеющий противо-ЭДС и внутреннее индуктивное синхронное сопротивление  $X$ .



## Уравнение электрического состояния фазы СД

$$\dot{U} = \dot{E}_0 + jXI$$

Угловая характеристика описывается выражениями

$$P = \frac{3E_0 U}{X} \sin \theta = P_{\max} \sin \theta$$

$$M_{\text{ЭМ}} = \frac{3E_0 U}{X\Omega_1} \sin \theta = M_{\max} \sin \theta,$$

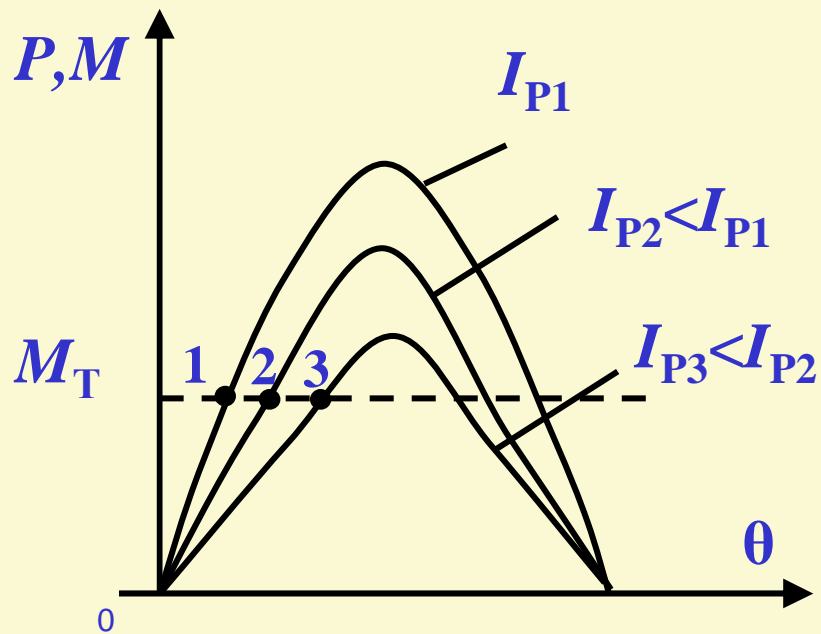
Амплитуда угловой характеристики характеризует перегрузочную способность синхронного двигателя или *предел его статической устойчивости в синхронизме*

$$\lambda = \frac{M_{\max}}{M_{\text{ном}}} = \frac{1}{\sin \theta}.$$

Перегрузочную способность легко регулировать током возбуждения. Номинальный момент двигателя соответствует углу рассогласования не более  $30^\circ$ . Поэтому перегрузочная способность двигателя всегда больше двух.

**СД обладает свойством саморегулирования: при изменении момента на валу изменяется угол  $\theta$  и  $M_{BR} = M_T$ . При этом изменяются  $P$  и ток статора. Но частота вращения остается неизменной: механическая характеристика СД – зависимость  $n(M)$ – представляет собой горизонтальный отрезок прямой.**

# Угловые характеристики



На нисходящих ветвях характеристик устойчивая работа двигателя невозможна.

При большом токе ротора его магнитное поле становится сильнее и  $\theta$  уменьшается.

Если уменьшить ток ротора, то  $M_T > M_{\max}$  и ротор остановится. При этом ЭДС  $E_0 = 0$  и ток статора резко увеличивается, так как

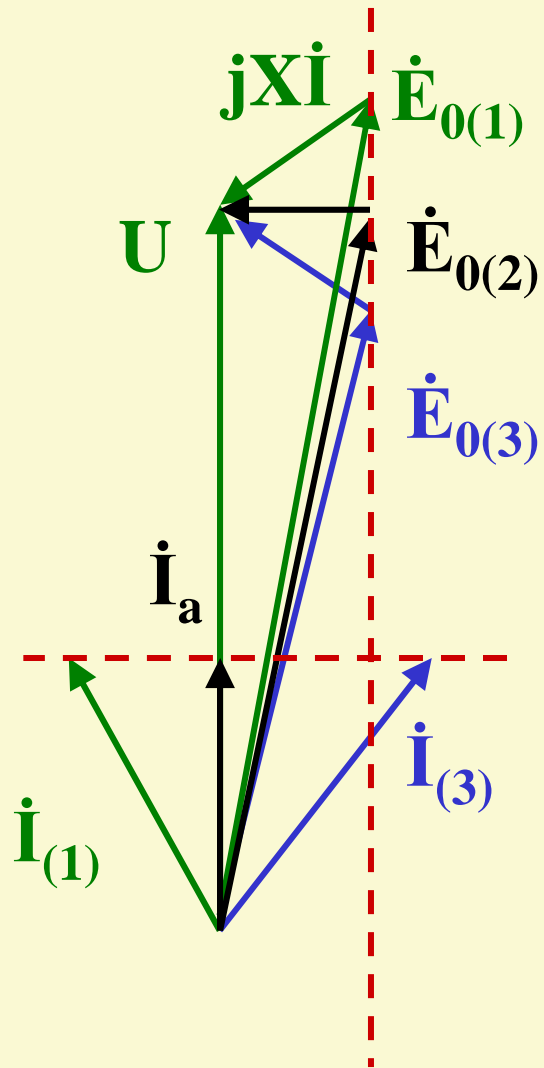
$$\dot{I} = (\dot{U} - \dot{E}_0) / jX$$



# Регулирование коэффициента мощности СД

Регулирование тока возбуждения ротора при  $M=\text{const}$  приводит к изменению значения тока статора двигателя и его фазы, т.е.

*коэффициент мощности СД можно регулировать*, что является его важной особенностью. Изменение тока статора и его фазы при изменении тока возбуждения можно показать, построив векторные диаграммы



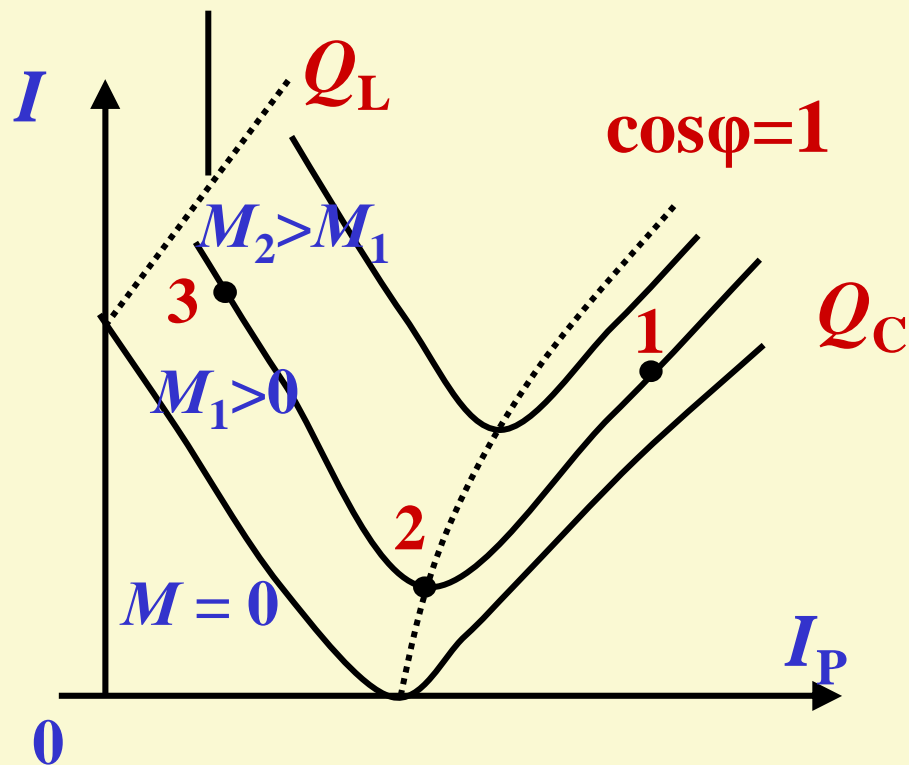
$$1. E_{0(1)} > U$$

$$2. \dot{I} = \dot{I}_a$$

$$3. E_{0(3)} < U$$

# V-образные характеристики

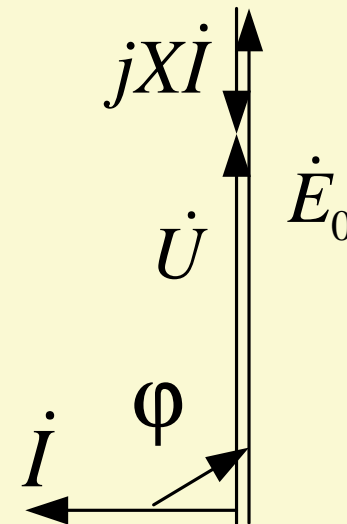
Граница устойчивости



Перевозбужденный двигатель работает с опережающей реактивной составляющей тока  
невозбужденный – с отстающей.

**Обычно СД работают с перевозбуждением при  $\cos\varphi=0.8$ . При этом емкостные составляющие токов статора компенсируют в линии индуктивные составляющие токов асинхронных двигателей, трансформаторов и других индуктивных приемников, уменьшая токи и потери энергии в линиях.**

Перевозбужденный СД, работающий без нагрузки на валу, называется **синхронным компенсатором** – потребителем емкостного тока. Их используют для улучшения коэффициента мощности и стабилизации напряжения промышленных сетей. Мощности синхронных компенсаторов достигают 100-160 Мвар.



## **Пуск СД**

**При подключении статора к сети быстровращающееся магнитное поле токов статора действует на неподвижный, возбужденный постоянным током ротор со знакопеременной силой, не создающей среднего момента, и ротор остается неподвижным.**

**Сначала нужно разогнать ротор  $n$ , близкой к синхронной. Для этого роторы СД снабжают пусковой короткозамкнутой обмоткой, как у АД. Стержни этой обмотки укладывают в специальные пазы полюсов.**

**При пуске ОВ отключают и замыкают на резистор, сопротивление которого в 10-15 раз превышает сопротивление ОВ. Под действием асинхронного момента ротор разгоняется до  $n$  близкой к синхронной ( $n_2=0.95n$ ), а затем ОВ подключают к источнику постоянного напряжения. Возникает синхронный электромагнитный момент и двигатель втягивается в синхронизм.**

Обычно пуск СД автоматизирован, что удорожает их, однако при мощностях свыше 100 кВт они оказываются экономически выгоднее асинхронных в основном благодаря способности работать с емкостной мощностью при перевозбуждении.