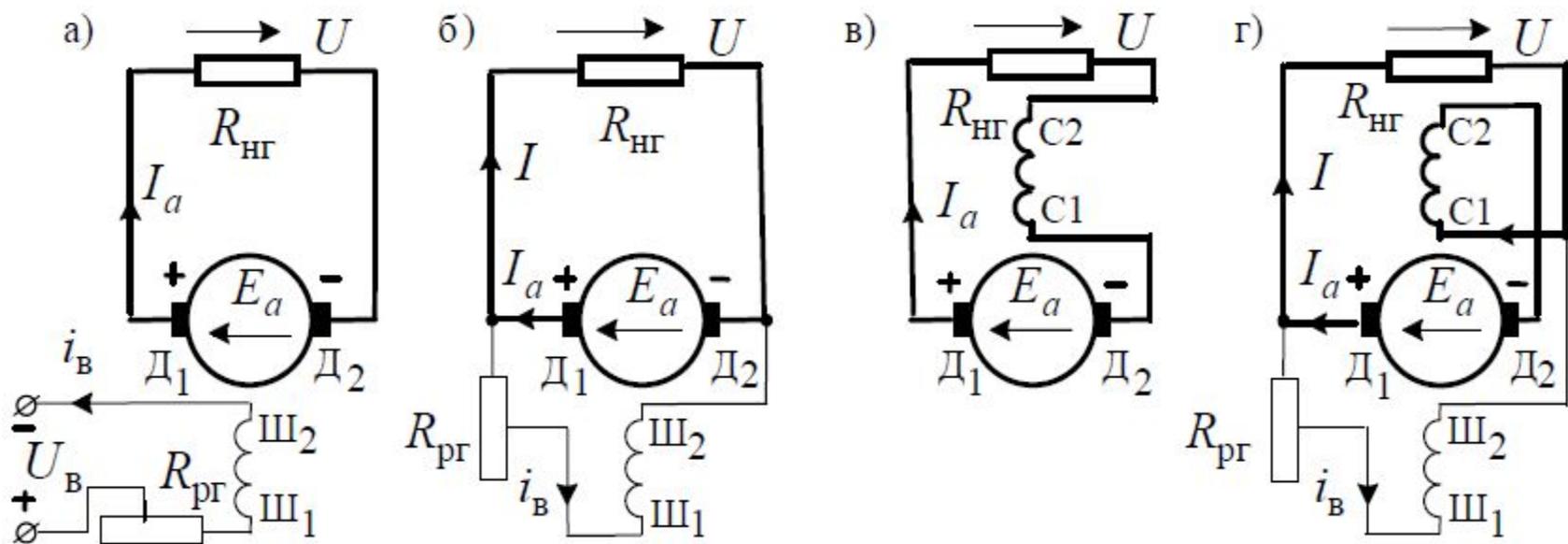


ГЕНЕРАТОРЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

По способу возбуждения генераторы подразделяются на:

- генераторы с независимым возбуждением (а)
- генераторы с параллельным возбуждением (б)
- генераторы с последовательным возбуждением (в)
- генераторы со смешанным возбуждением (г)



Потери в генераторах постоянного тока

ОСНОВНЫЕ

1. **Электрические** потери в обмотках

$$P_{\text{эла}} = I_a^2 R_a$$

2. **Магнитные** потери в сердечнике якоря (потери в «стали») включают в себя потери от вихревых токов и гистерезиса

$$P_{\text{МГ}} = k_d \cdot P_{\text{уд}} \cdot G_c \cdot \left(\frac{B}{B_0}\right)^2 \cdot \left(\frac{f}{50}\right)^{1,3}$$

$$P_{\text{Г}} \sim f$$

$$P_{\text{ВХ}} \sim f^2$$

Определяются отдельно для спинки якоря и зубцов

Магнитные потери слабо зависят от токовой нагрузки генератора и принимаются независимыми от тока якоря. Их относят к «потерям холостого хода» P_0

3. **Механические** потери $P_{\text{МХ}}$

Возникают при трении щёток о коллектор, трения в подшипниках и от трения вращающегося якоря о воздух (вентиляционные потери)

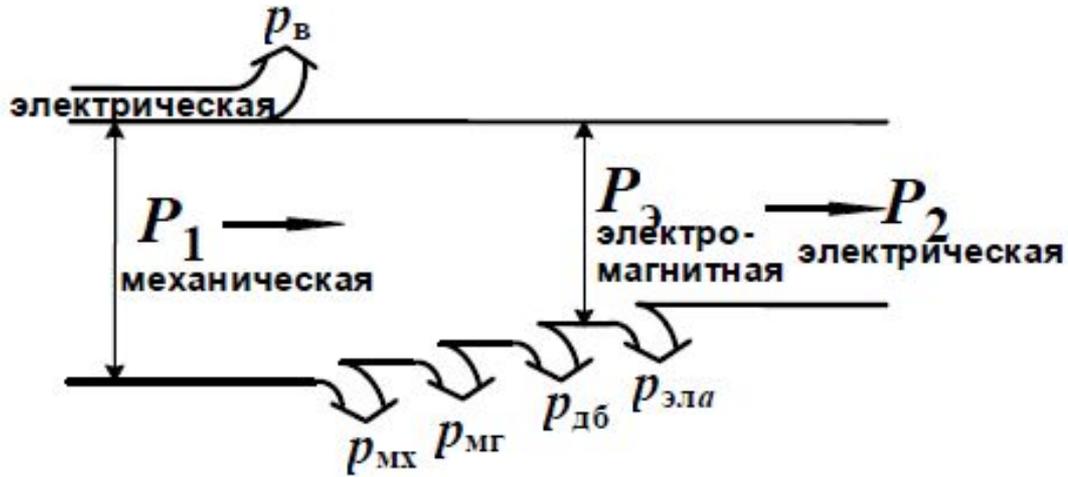
Не зависят от токовой нагрузки машины и относятся к потерям холостого хода

ДОБАВОЧНЫЕ $P_{\text{дб}}$

делятся на электрические и магнитные и связаны с вихревыми токами в крепёжных деталях, с искажением поля при нагрузке и перераспределением магнитного потока в зубцах якоря (пульсации из-за зубчатости якоря и полюсного наконечника) (0.5 – 1.0)% от P_n

Мощности в генераторах постоянного тока (независимое возбуждение)

$$P_2 = P_1 - p_{\text{мх}} - p_{\text{мг}} - p_{\text{дб}} - p_{\text{эла}} = P_{\text{эм}} - p_{\text{эла}}$$



Энергетическая диаграмма

Электромагнитная мощность

$$P_3 = P_2 + p_{\text{эла}} = UI_a + I_a^2 R_a =$$

$$= (E_a - I_a R_a) I_a + I_a^2 R_a = E_a I_a$$

КПД $\eta = P_2 / P_1$ $\eta = 1 - \frac{p_{\Sigma}}{P_2 + p_{\Sigma}}$

Уравнение напряжения генератора

Напряжение генератора (падение напряжения на нагрузке $R_{\text{нг}}$) равно ЭДС E_a , индуцированной в обмотке якоря, за вычетом падения напряжения на сопротивлении цепи якоря внутри генератора R_a :

$$U = E_a - I_a R_a$$

$$E_a = C_e \Phi_\delta n$$

$$R_a = r_{\text{я}} + R_{\text{дп}} + R_{\text{ко}} + R_{\text{с}} + R_{\text{щ}}.$$

$$R_{\text{щ}} = 2 / I_{\text{ан}} \quad \text{Угольно-графитные щетки}$$

$$R_{\text{щ}} = 0,6 / I_{\text{ан}} \quad \text{Металлоугольные щетки}$$

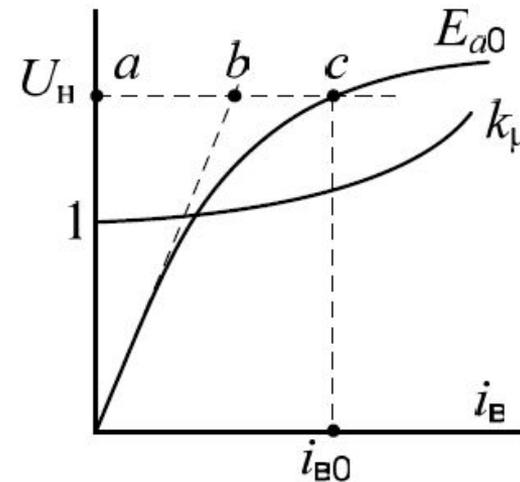
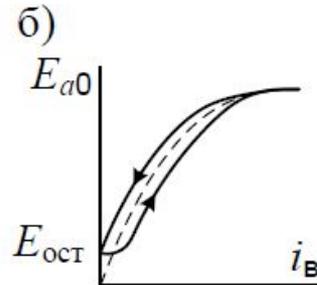
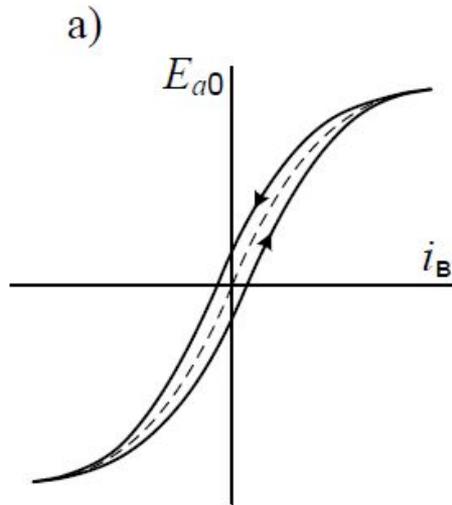
Характеристики генераторов постоянного тока

- 1) нагрузочные $U = f(i_B)$ при $I_a = \text{const}$; $n = n_H$
- 2) внешние $U = f(I_a)$ при $R_{цв} = \text{const}$;
- 3) регулировочные $i_B = f(I_a)$ при $U = \text{const}$

Характеристика холостого хода (XXX) - частный случай нагрузочной характеристики при $I_a = 0$

$$U_a = E_a - I_a R_a$$

$$E_{a0} = c_e n \Phi_{\delta 0}$$



Коэффициент насыщения

$$k_{\mu} = 1 + \frac{F_c}{F_{\delta}} = 1 + \frac{bc}{ab}$$

$$U_H = E_{a0H} = c_e n_H \Phi_{\delta 0H} = c_M \Omega_H \Phi_{\delta 0H}$$

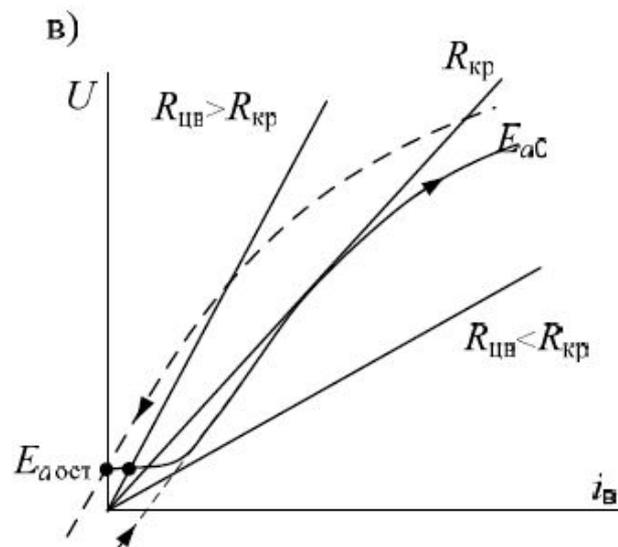
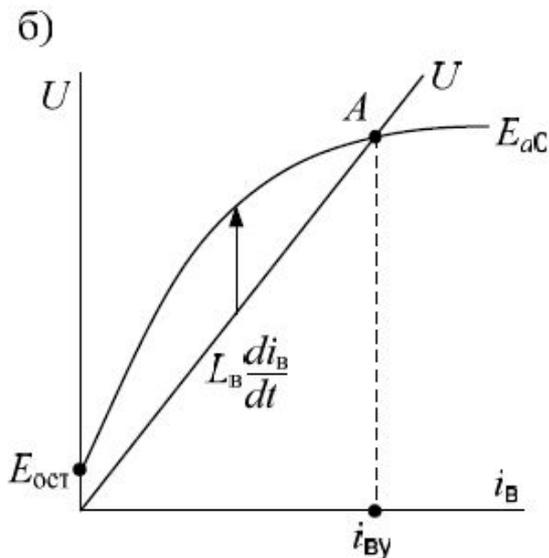
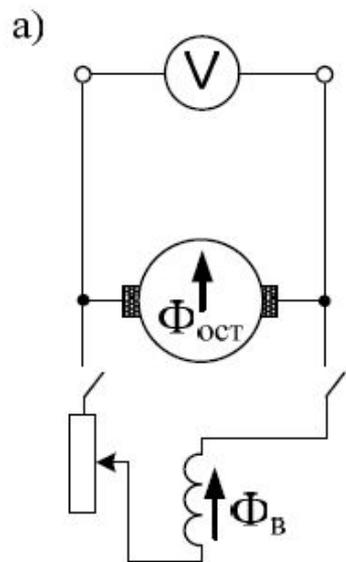
Самовозбуждение генераторов

Рассмотрим процесс самовозбуждения генератора параллельного возбуждения при холостом ходе

Самовозбуждение возможно, если выполняются следующие условия:

1. Генератор ранее был намагничен, и в его магнитной системе существует остаточный магнитный поток $\Phi_{\text{ост}}$
2. Возникающий магнитный поток обмотки возбуждения направлен согласно с остаточным потоком
3. Сопротивление цепи возбуждения меньше критического $R_{\text{цв}} < R_{\text{кр}}$
4. Скорость вращения должна быть выше некоторой критической величины.

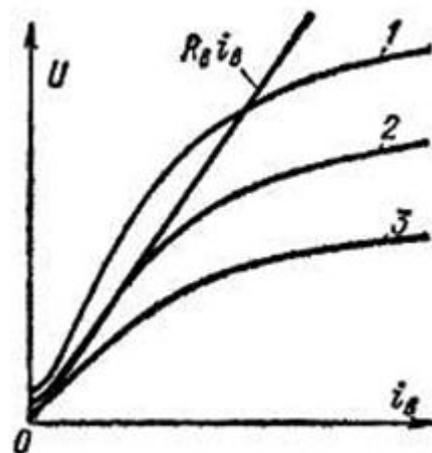
$$E_a = C_e \Phi_\delta n$$



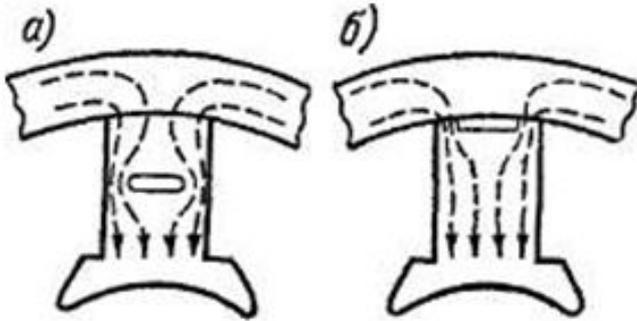
$$U_B = R_B i_B + \frac{d(L_B i_B)}{dt} \quad U_B = E_a - i_B R_a = U_a$$

$$U_a = R_B i_B + \frac{d(L_B i_B)}{dt} = E_a$$

$$\frac{d(L_B i_B)}{dt} = E_a - R_B i_B \quad \frac{d(L_B i_B)}{dt} = 0,$$



Магнитные мостики насыщения в магнитной цепи



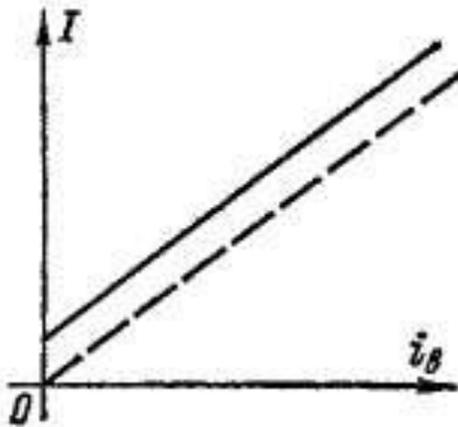
$$U_H : U_{min} = 5 : 1$$

Характеристика короткого замыкания $I = f(i_e)$
(генератор независимого возбуждения)

при $U = 0$ и $n = const$

$$E_a = I_a R_a$$

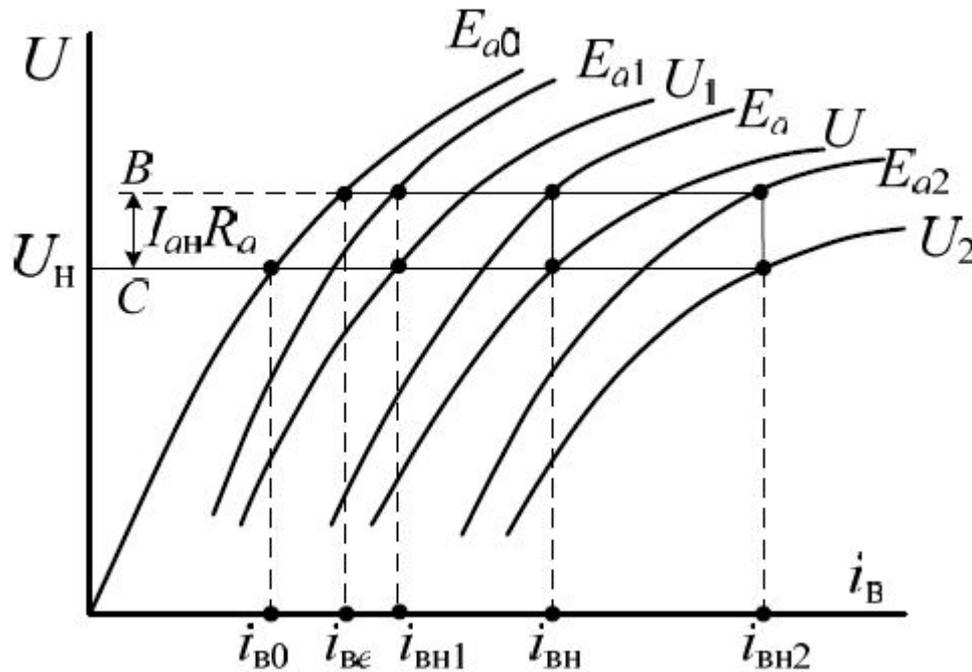
$$E_a = C_e \Phi_\delta n$$



Нагрузочные характеристики

$$I_a = I_{aH}$$

Вид характеристик объясняется двумя факторами:
 размагничивающим действием реакции якоря
 падением напряжения в цепи якоря внутри машины



i_{BH} -номинальный ток
возбуждения

$$U = E_a - I_a R_a$$

$$U_H + I_{aH} R_a = E_{aH} = c_e n \cdot \Phi_{\delta H}$$

$$\Delta F_a = (i_{BH} - i_{Be})$$

- размагничивающая реакция
якоря, выраженная в масштабе
тока возбуждения

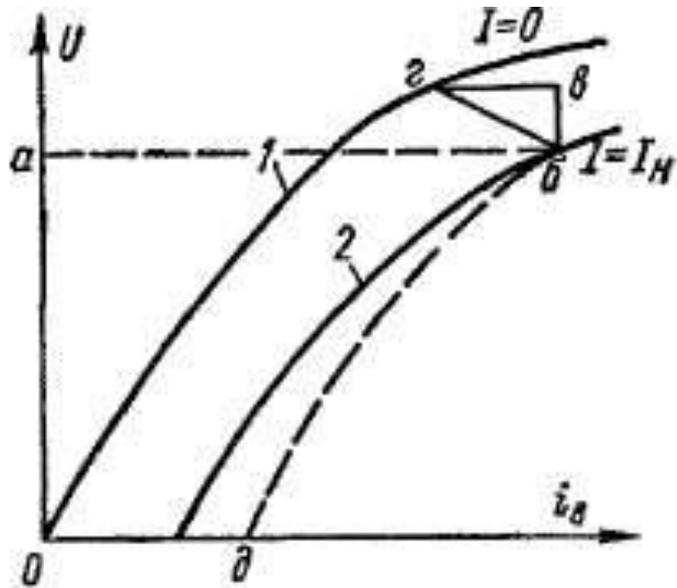
E_{a0} — характеристика холостого хода;

E_{a1}, U_1 — смешанное согласное возбуждение;

E_{a2}, U_2 — смешанное встречное возбуждение;

E_a, U — параллельное и независимое

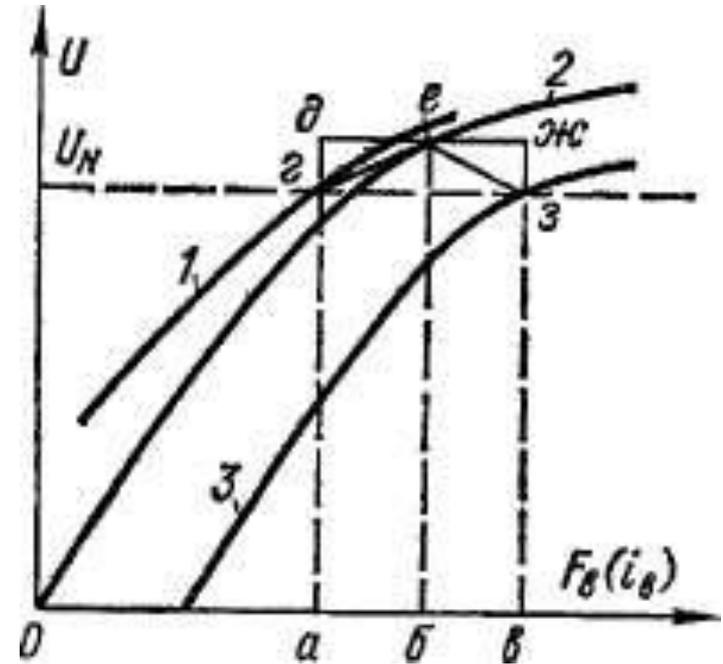
возбуждение



Генератор независимого возбуждения

$$бв = IR_a$$

$вз$ – определяет размагничивающее действие поперечной реакции якоря

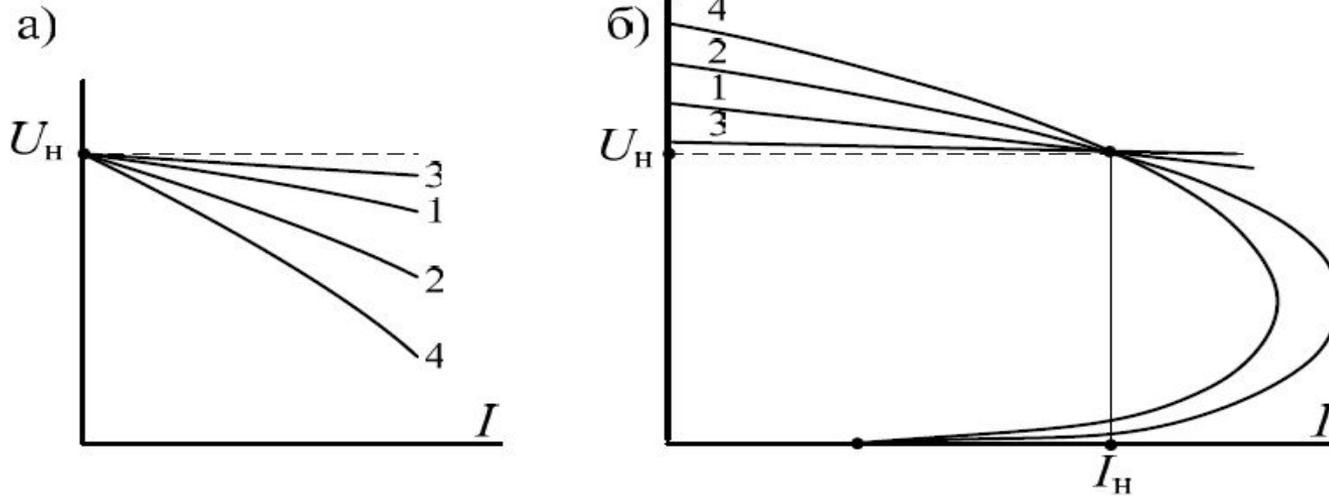


- 1 – генератор смешанного возбуждения
- 2 – холостой ход
- 3- генератор независимого или параллельного возбуждения

$жд$ – определяет намагничивающую силу последовательной обмотки возбуждения

Внешние характеристики

снимаются **без регулирования** их тока возбуждения, т. е. при постоянном сопротивлении цепи возбуждения



$$U_a = E_a - I_a R_a$$

a — при условии $I_a = 0$, $U = U_H$, *б* — при условии $I_a = I_H$, $U = U_H$

Возбуждение: 1 - независимое; 2 - параллельное;

3 - смешанное согласное; 4 - смешанное встречное

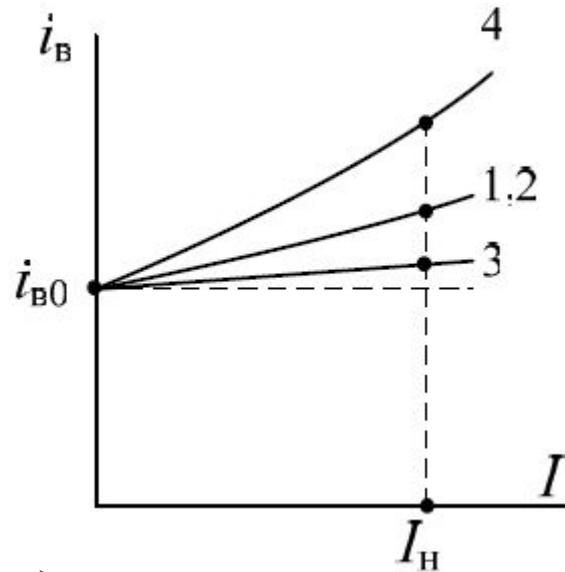
Изменение напряжения
$$\Delta u = \frac{U_0 - U_H}{U_H} \cdot 100\%$$

Внешняя характеристика генератора параллельного возбуждения имеет особенность, связанную с «самоограничением» тока якоря

Рост тока нагрузки при уменьшении сопротивления нагрузки ведёт к снижению напряжения и тока возбуждения. Начиная с некоторой величины тока якоря, называемой критическим током якоря, дальнейшее уменьшение сопротивления нагрузки не приводит к росту тока якоря, т. к. преобладает влияние уменьшения тока возбуждения. Ток якоря начинает уменьшаться и стремится к значению установившегося тока короткого замыкания при остаточном потоке возбуждения

Регулировочные характеристики

$$U = U_H$$

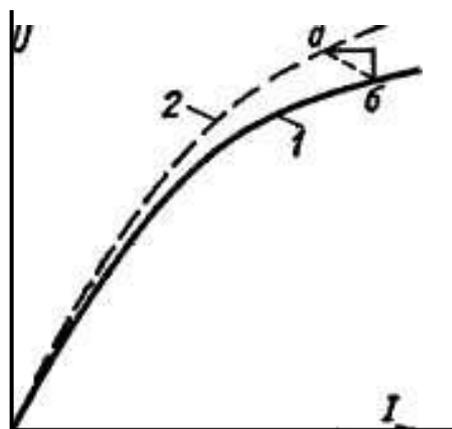


$$U_a = E_a - I_a r_a$$

Возбуждение:

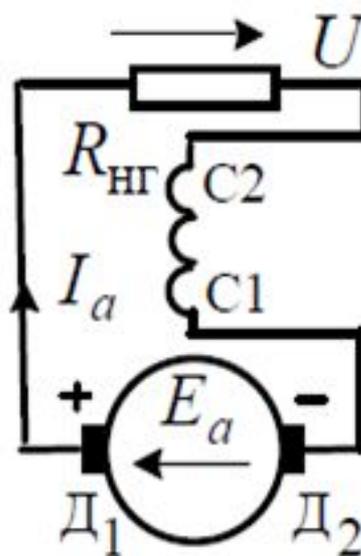
- 1, 2 — независимое и параллельное
- 3 — смешанное согласное,
- 4 — смешанное встречное

Внешняя характеристика генератора последовательного возбуждения

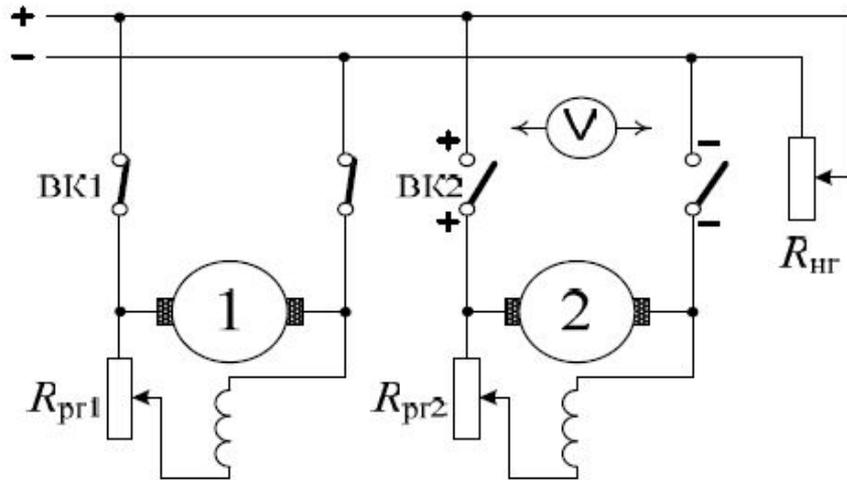


$$i_e = I_a = I$$

$$U_a = E_a - I_a r_a$$



Параллельная работа генераторов



Подключение генератора 2 к работающему генератору 1 требует выполнения следующих условий:

1. Полярность подключаемого и работающего генератора должна быть одинаковая.
2. ЭДС подключаемого генератора E_{a02} должна равняться напряжению на общей нагрузке U .

После подключения второго генератора имеем

$$E_{a1} = U + I_{a1}R_{a1}, \quad E_{a02} = U$$

При неравных напряжениях генераторов в замкнутой цепи, образованной якорями обоих генераторов возникает уравнительный ток

$$J_{ур} = \frac{U_1 - E_{a2}}{R_{a2}} = \frac{E_{a1} - I_{a1}R_{a1} - E_{a2}}{R_{a2}},$$

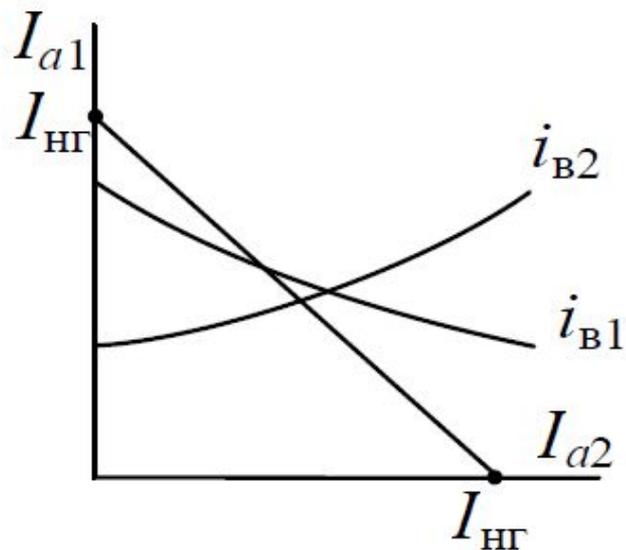
Уравнения напряжения генераторов, включенных на параллельную работу

$$\begin{aligned} U &= E_{a1} - I_{a1}R_{a1} = \\ &= E_{a2} - I_{a2}R_{a2}, \end{aligned}$$

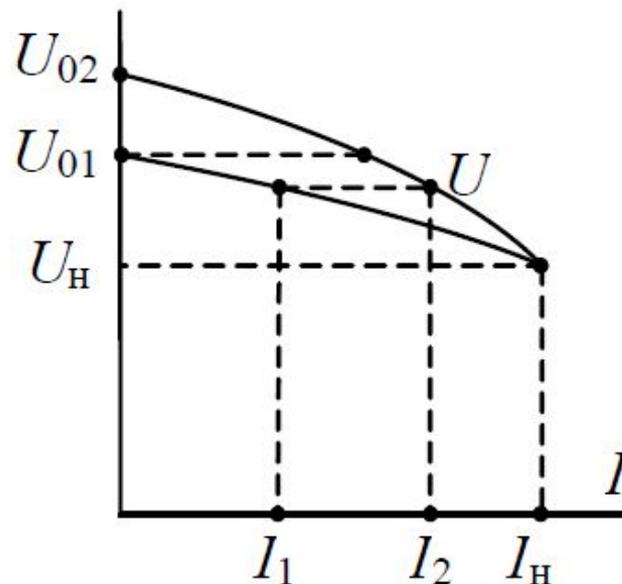
$$E_{a1} = c_{e1} \Phi_{\delta 1} n_1$$

$$E_{a2} = c_{e2} \Phi_{\delta 2} n_2$$

Для **перевода нагрузки** надо уменьшить ЭДС (ток возбуждения) разгружаемого генератора 1 и увеличить ЭДС (ток возбуждения) у нагружаемого генератора 2 так, чтобы напряжение на нагрузке осталось неизменным



Перевод нагрузки



Работа в режиме внешней характеристики

Работа **в режиме внешней характеристики:**

общий ток нагрузки изменяется, а регулирование в цепях возбуждения генераторов не производится. Распределение тока нагрузки между генераторами происходит в соответствии с их внешними характеристиками (генератор 2 с более крутой внешней характеристикой «медленнее» разгружается при уменьшении общей нагрузки и несет большую относительную нагрузку).