



Электрические машины – электромеханические преобразователи энергии

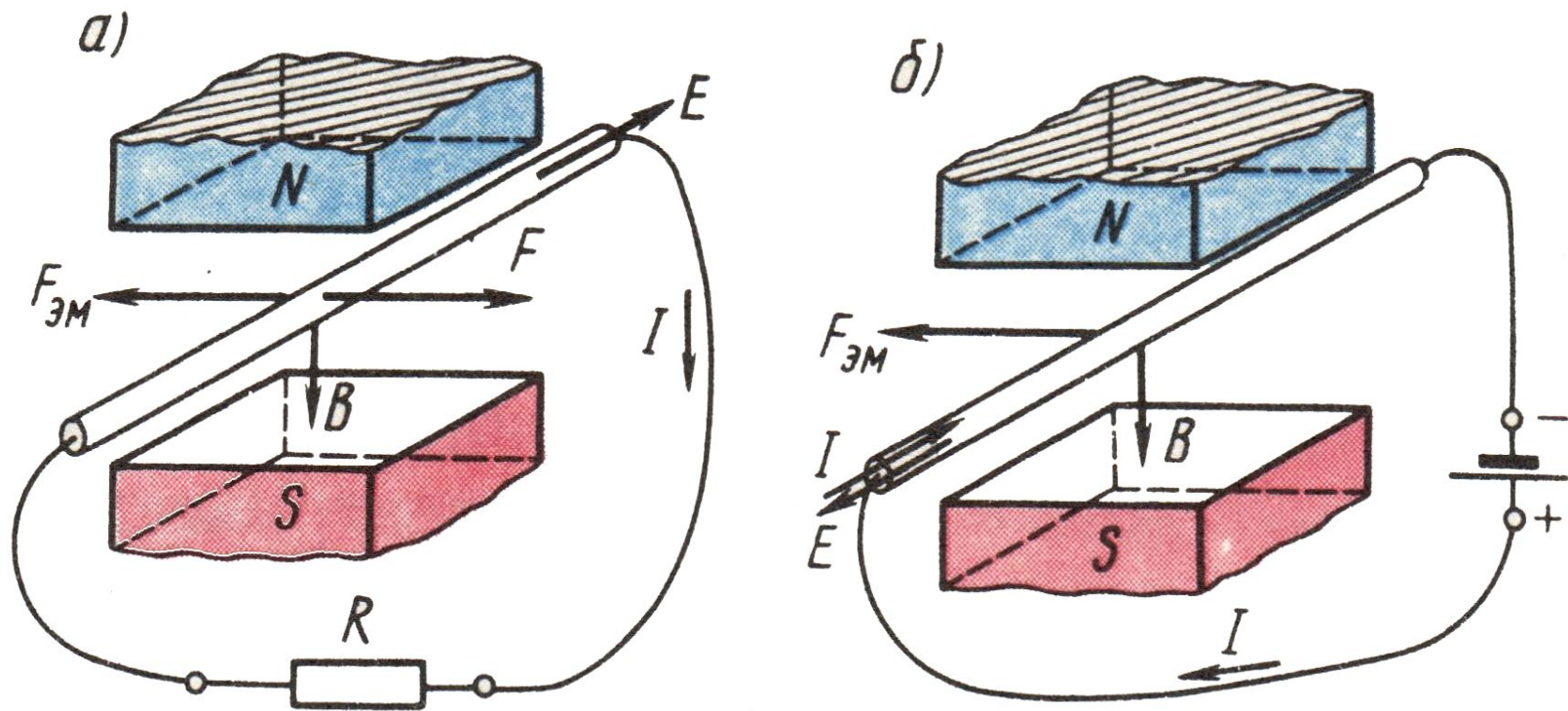


Рис. 1 К понятиям об «элементарном генераторе» (а) и «элементарном двигателе» (б)

Электродвижущая сила (ЭДС)

$$E = B \cdot l \cdot v, \quad (1)$$

Электромагнитная сила

$$F_{\text{ЭМ}} = B \cdot l \cdot I, \quad (2)$$

Падение напряжения в проводнике:

$$U = E + I \cdot r, \quad (3)$$

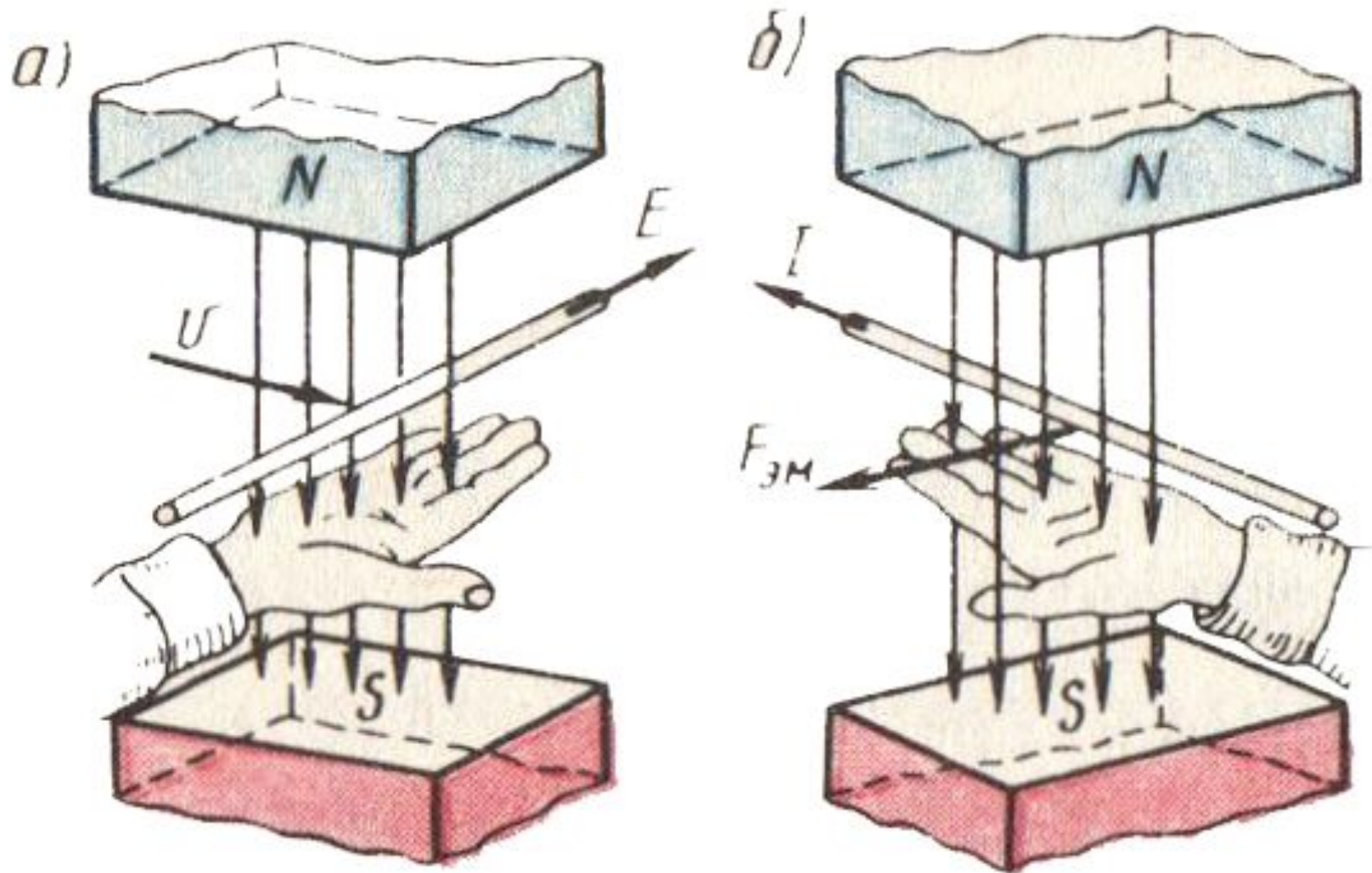


Рис. 2. Правила «правой руки» и «левой руки»

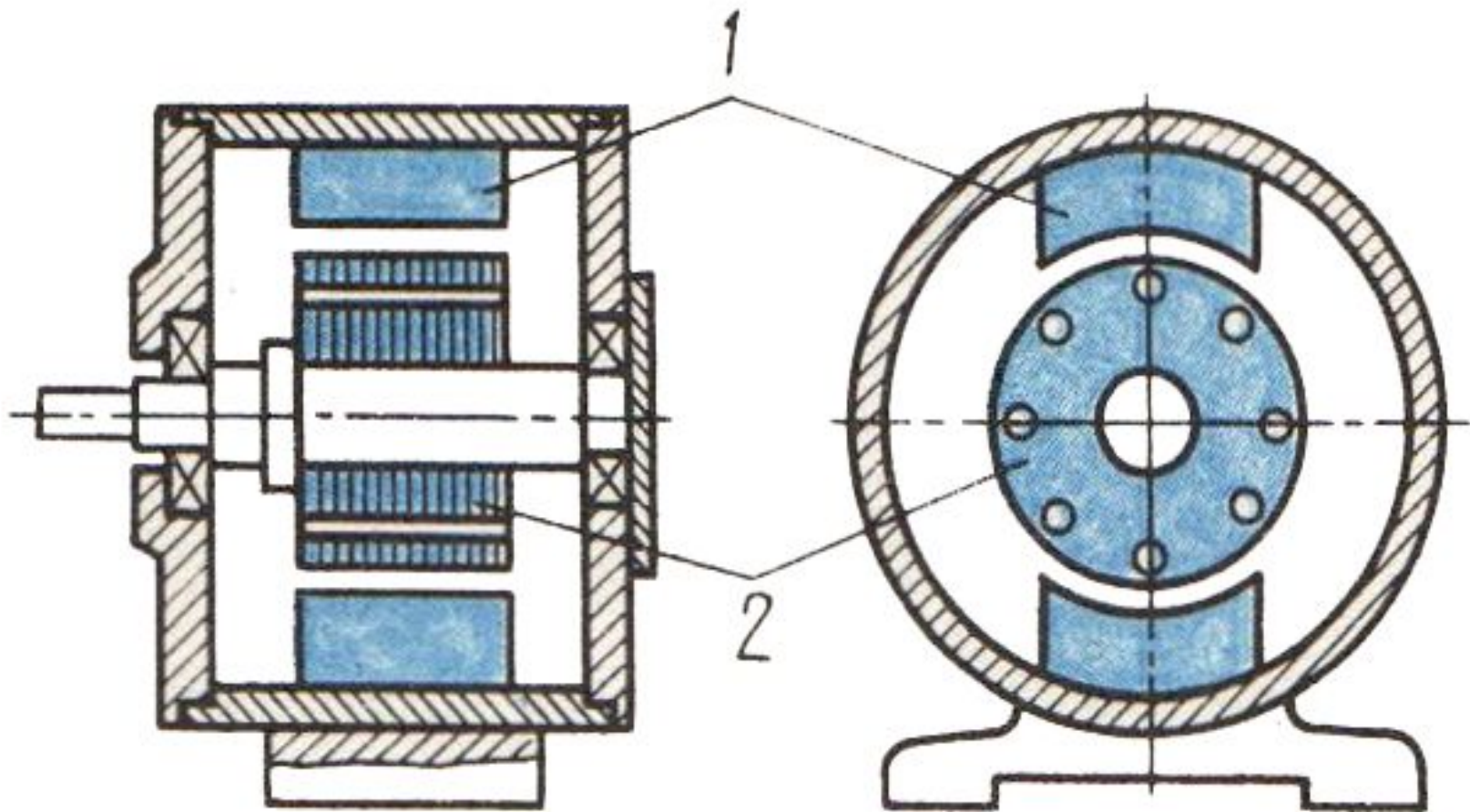


Рис. 3 Обобщенная конструктив-
ная схема электрической машины

Классификация электрических машин



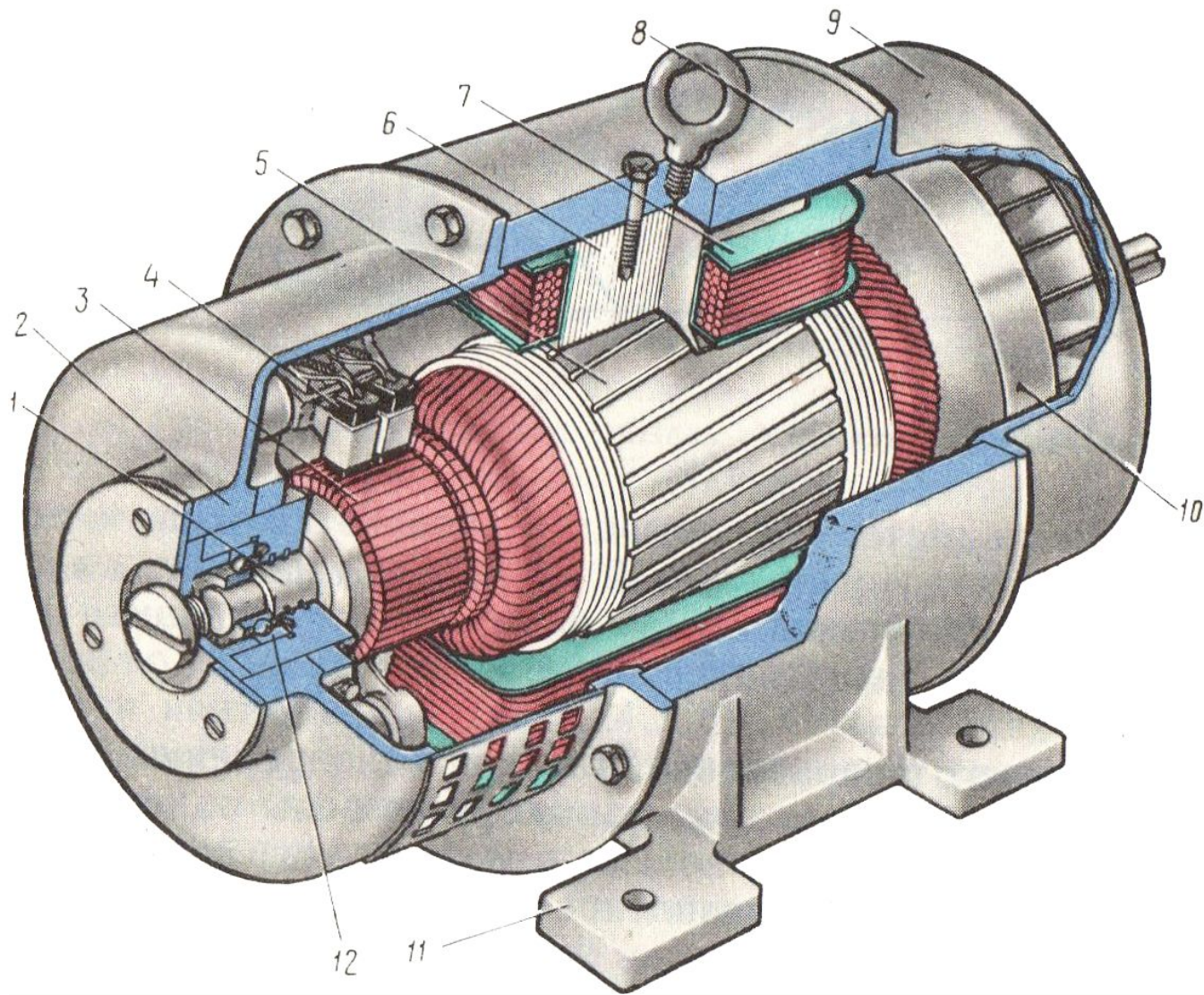
Рис. 4



Устройство машин постоянного тока

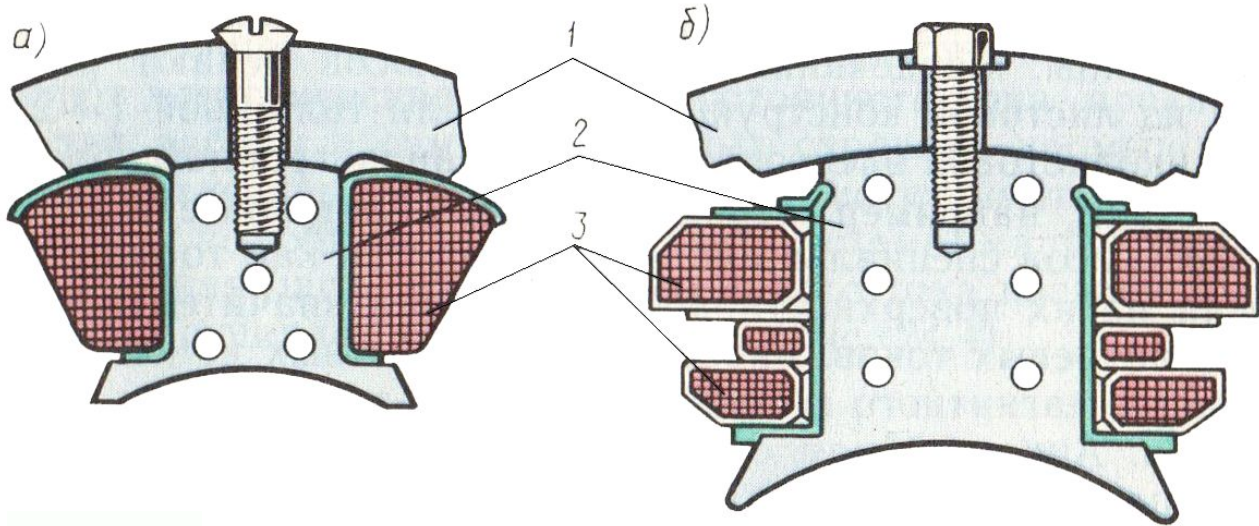
Принцип действия машин постоянного тока





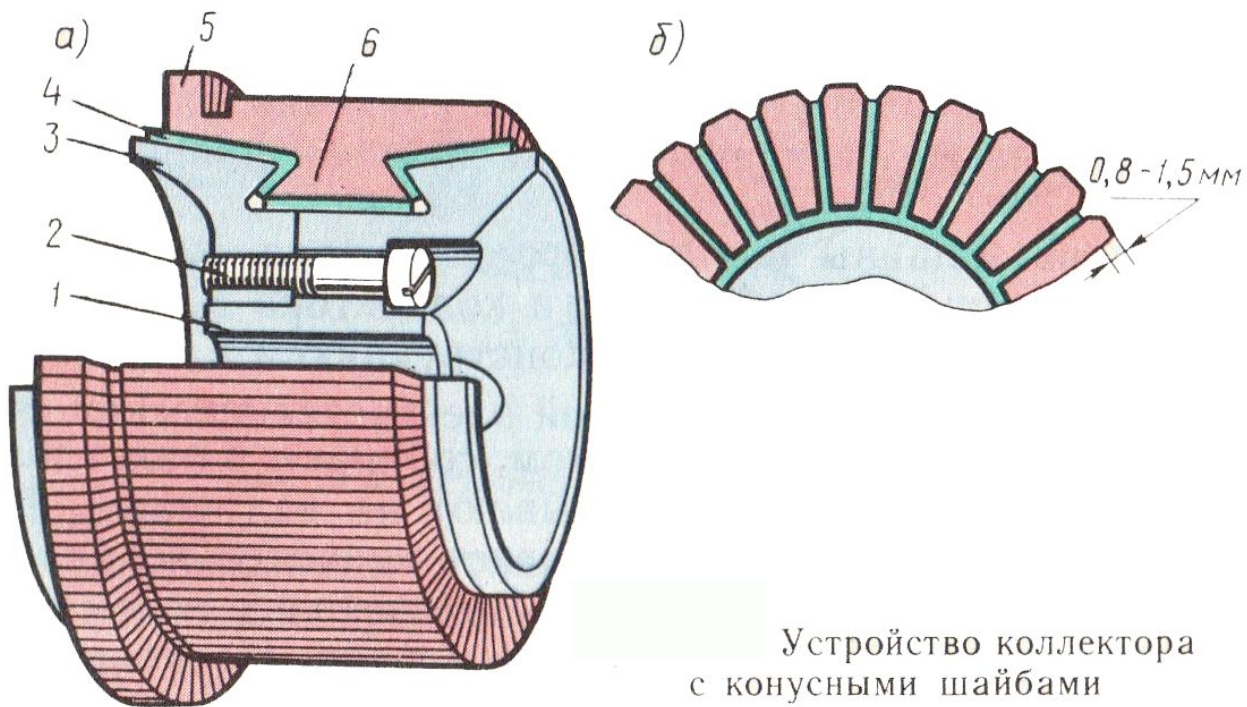
- 1 – коллектор;
- 2 – щетки;
- 3 – якорь;
- 4 – главный полюс;
- 5 – полюсная катушка;
- 6 – станина;
- 7, 12 – подшипниковые щиты;
- 8- вентилятор;
- 9 – обмотка якоря;
- 10 – вал;
- 11 – лапы

Рис. 5. Устройство машины постоянного тока

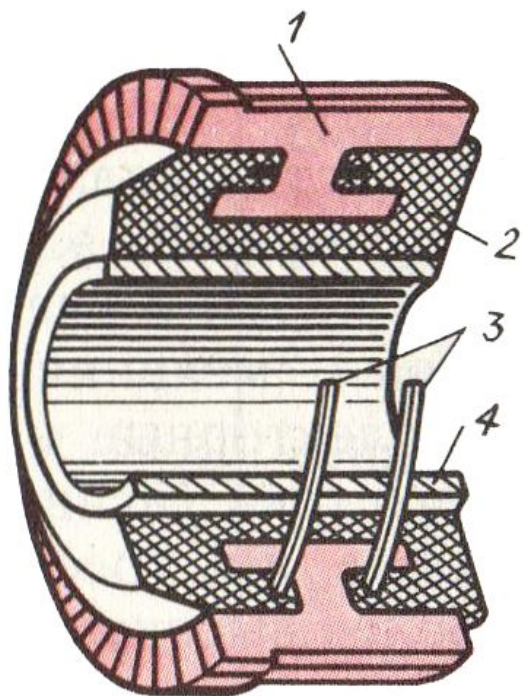


Главные полюсы с бескаркасной (а) и каркасной (б) полюсными катушками:

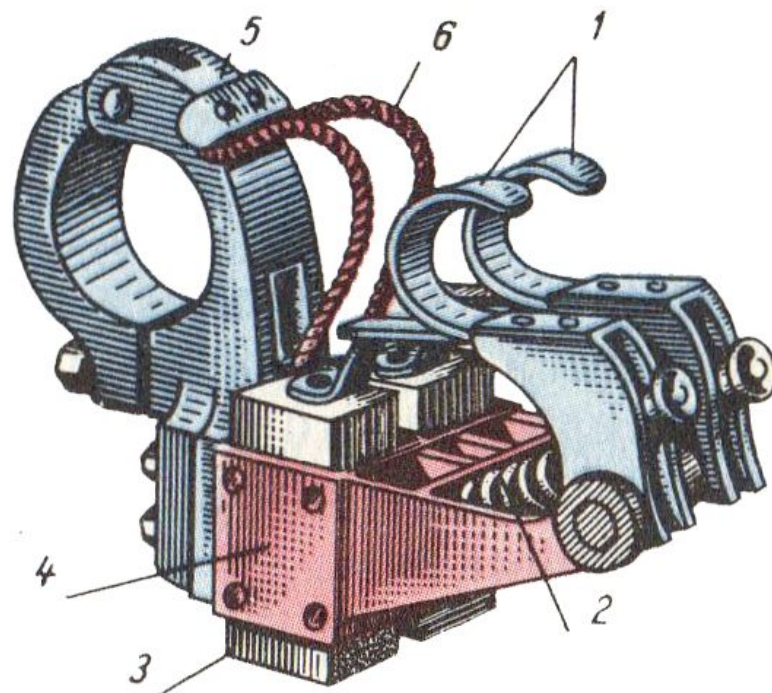
1 — станина; 2 — сердечник полюса; 3 — полюсная катушка



Устройство коллектора с конусными шайбами



Устройство
коллектора на
пластмассе



Щеткодержатель
(сдвоенный) машины постоянно-
го тока

Магнитный поток Φ

$$\Phi = \frac{I_v \cdot W_v}{R_m} \quad (4)$$

Электромагнитный момент M

$$M = C_m \cdot I_y \cdot \Phi \quad (5)$$

ЭДС

$$E = C_E \cdot \Phi \cdot n \quad (6)$$

Ток в обмотке якоря

$$I_y = \frac{U - E}{R_y} \quad (7)$$

$$U = E + I_y \cdot R_y \quad (8)$$

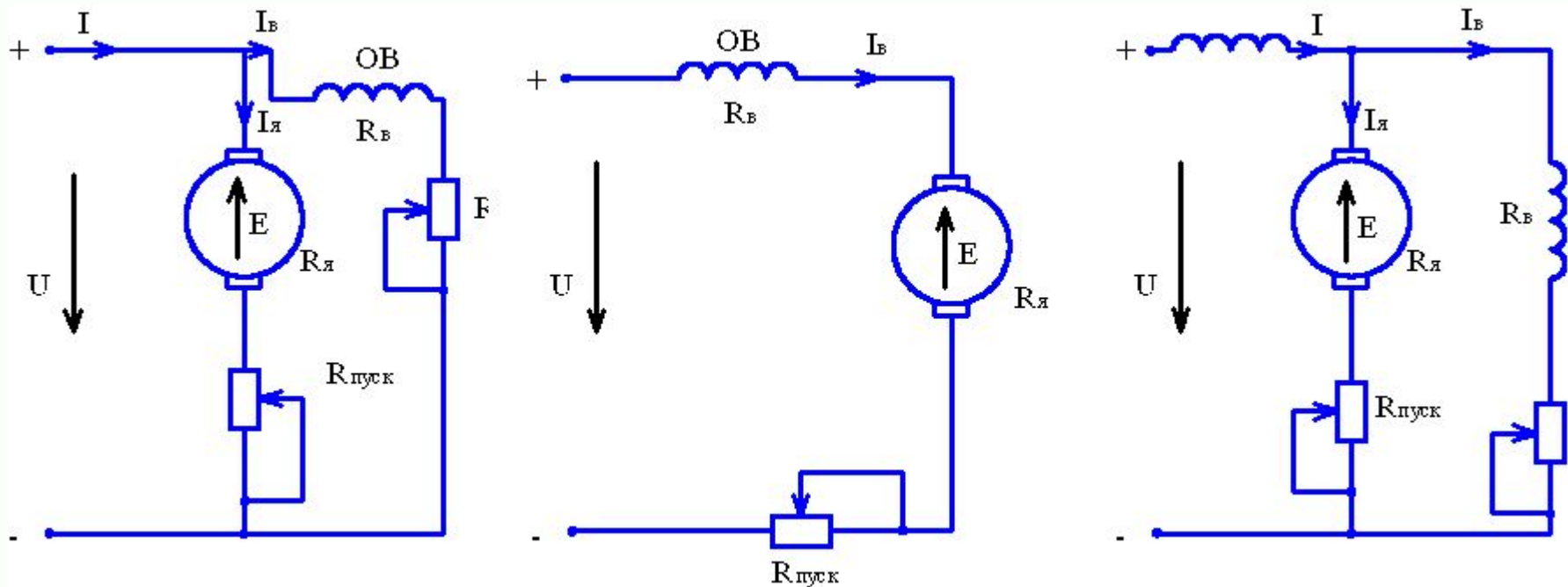


Рис. 6. Схемы включения двигателей постоянного тока:
а – с параллельным возбуждением; *б* – с последовательным; *в* – со смешанным



Магнитное поле машины постоянного тока

Магнитная цепь машины постоянного тока

Магнитодвижущая сила обмотки возбуждения на пару полюсов в режиме х.х. определяется суммой магнитных напряжений на участках магнитной цепи:

$$A_{ai} = \sum F = 2F_{\delta} + 2F_z + 2F_m + F_a + F_{\dot{y}} \quad (9)$$

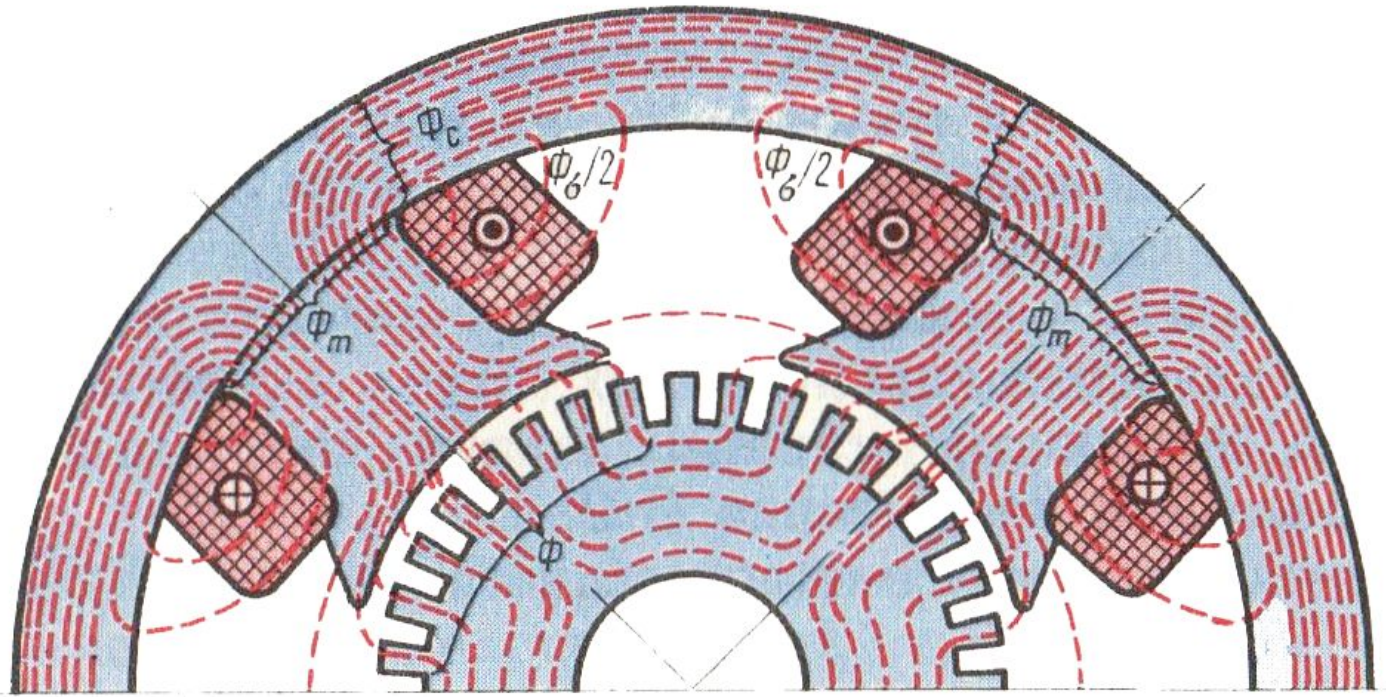


Рис. 7 Магнитное поле машины постоянного тока в режиме х.х.

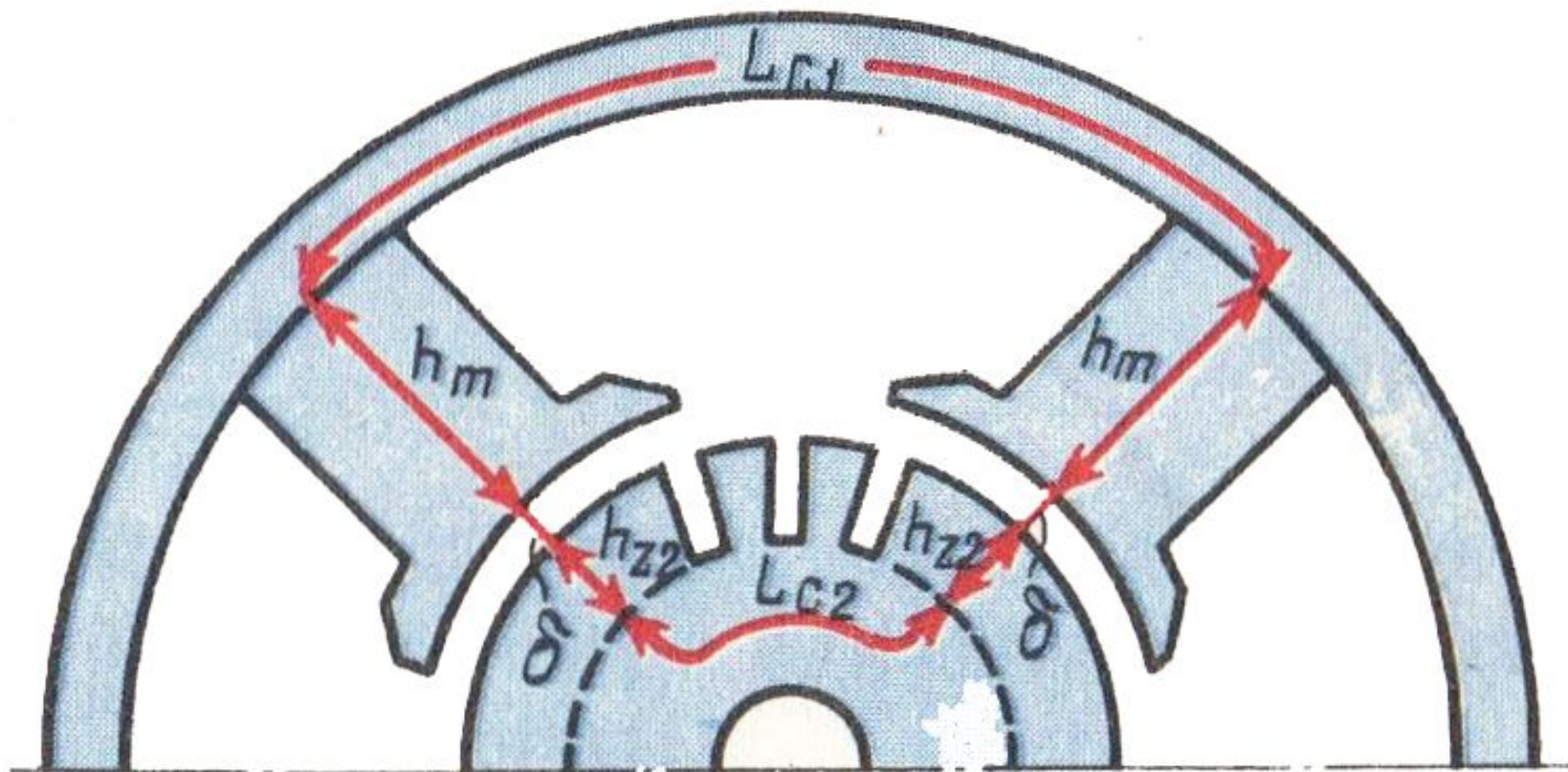
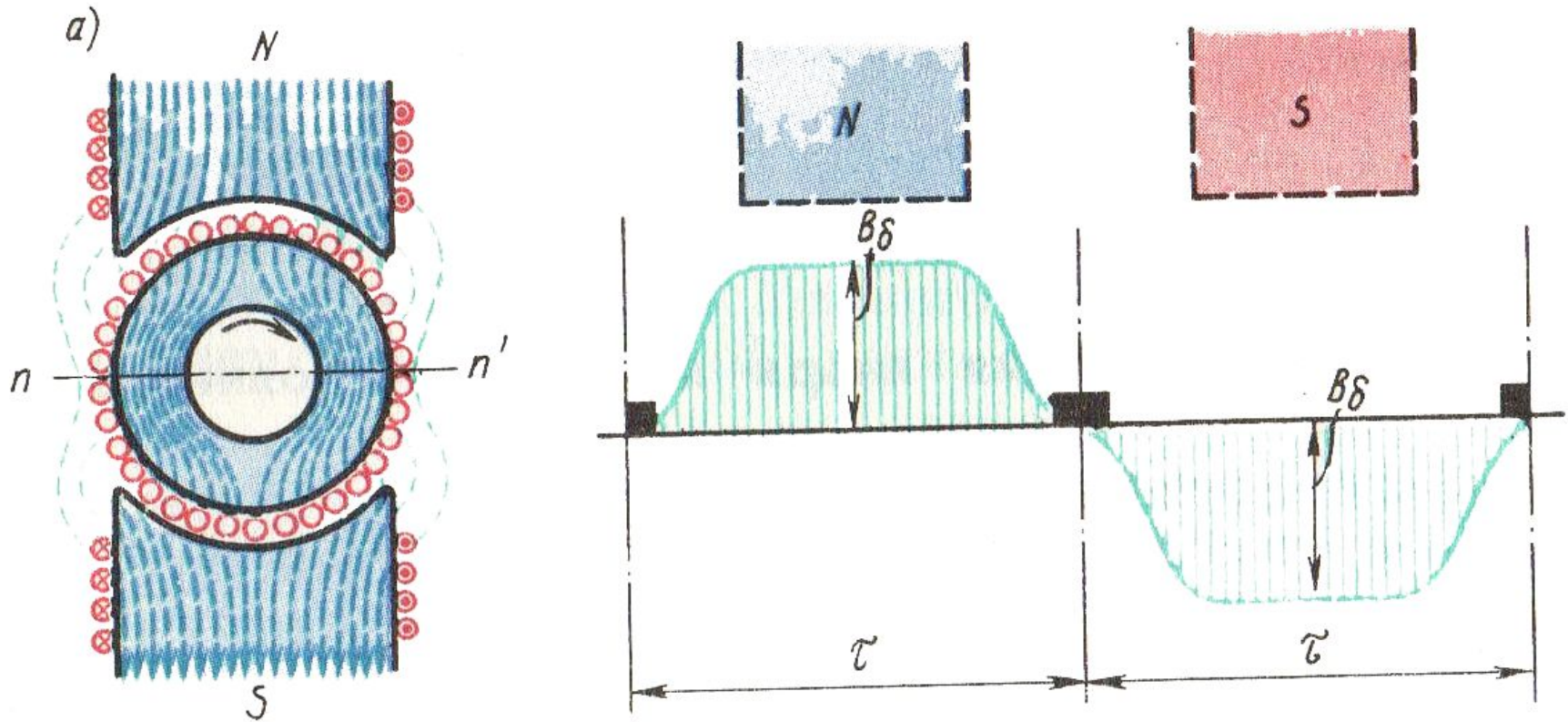


Рис. 8 Расчетный участок магнитной цепи четырехполюсной машины постоянного тока
Магнитное напряжение воздушного зазора (A)

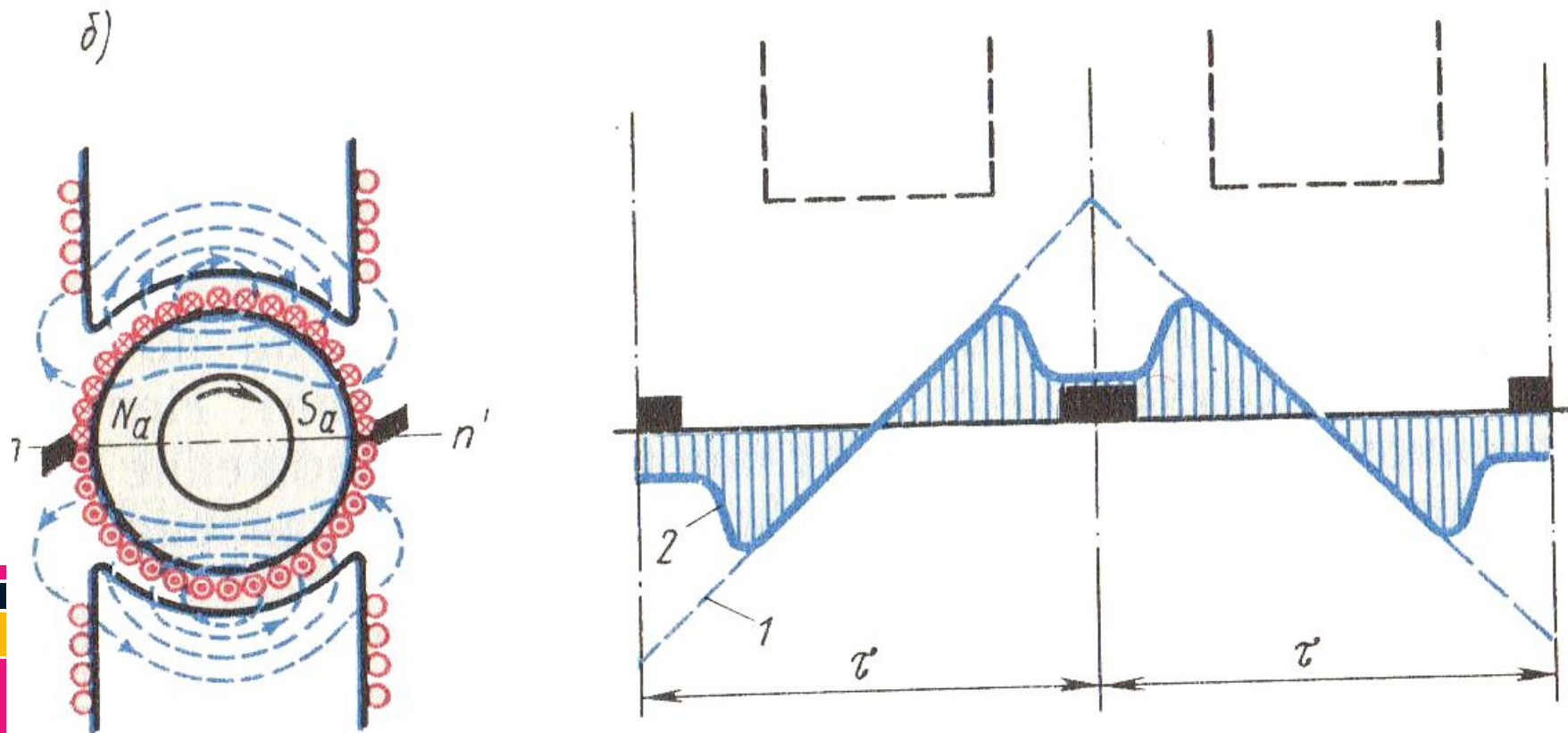
$$F_{\delta} = 0,8 \cdot B_{\delta} \cdot \delta \cdot k_{\delta} \cdot 10^3 \quad (10)$$

Реакция якоря машины постоянного тока



Магнитное поле машины в этом случае симметрично относительно оси полюсов (рис. 9, а).

Магнитное поле, созданное МДС*, будет иметь вид, представленный на рис. 9, б.



*МДС - магнитная система машины

Показано распределение магнитных силовых линий результирующего поля машины, работающей в генераторном режиме при вращении якоря по часовой стрелке.

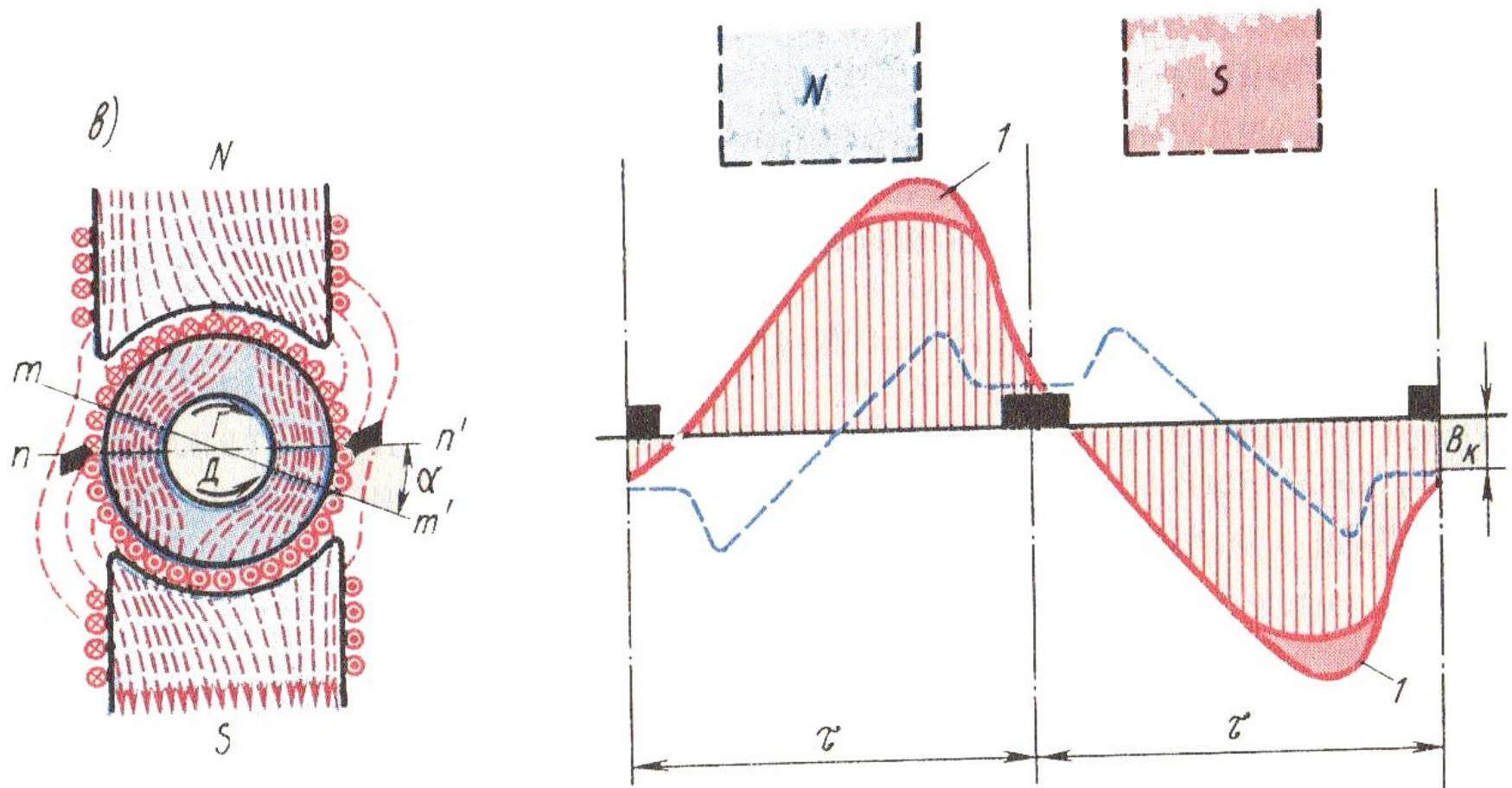


Рис. 9. Магнитное поле машины и распределение магнитной индукции в воздушном зазоре

Способы уменьшения вредного влияния реакции якоря

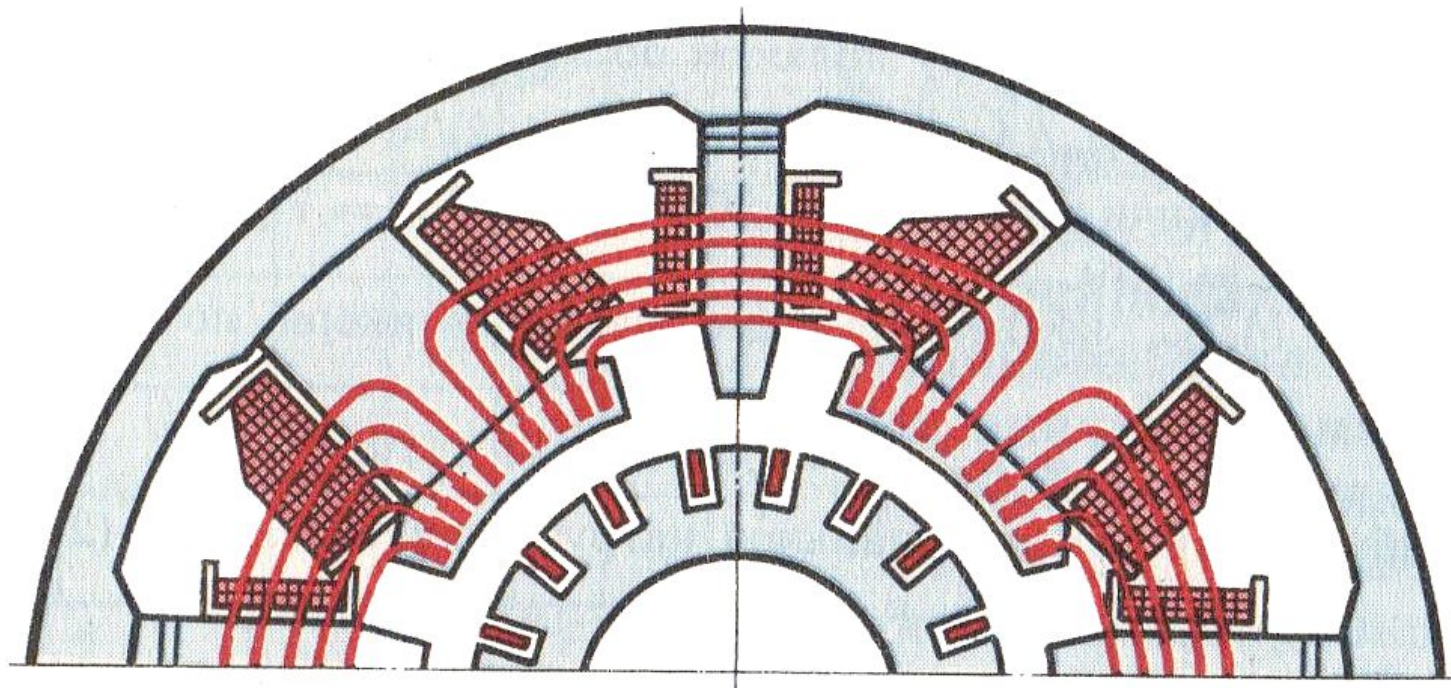


Рис. 10. Компенсационная обмотка

Способы возбуждения машин постоянного тока

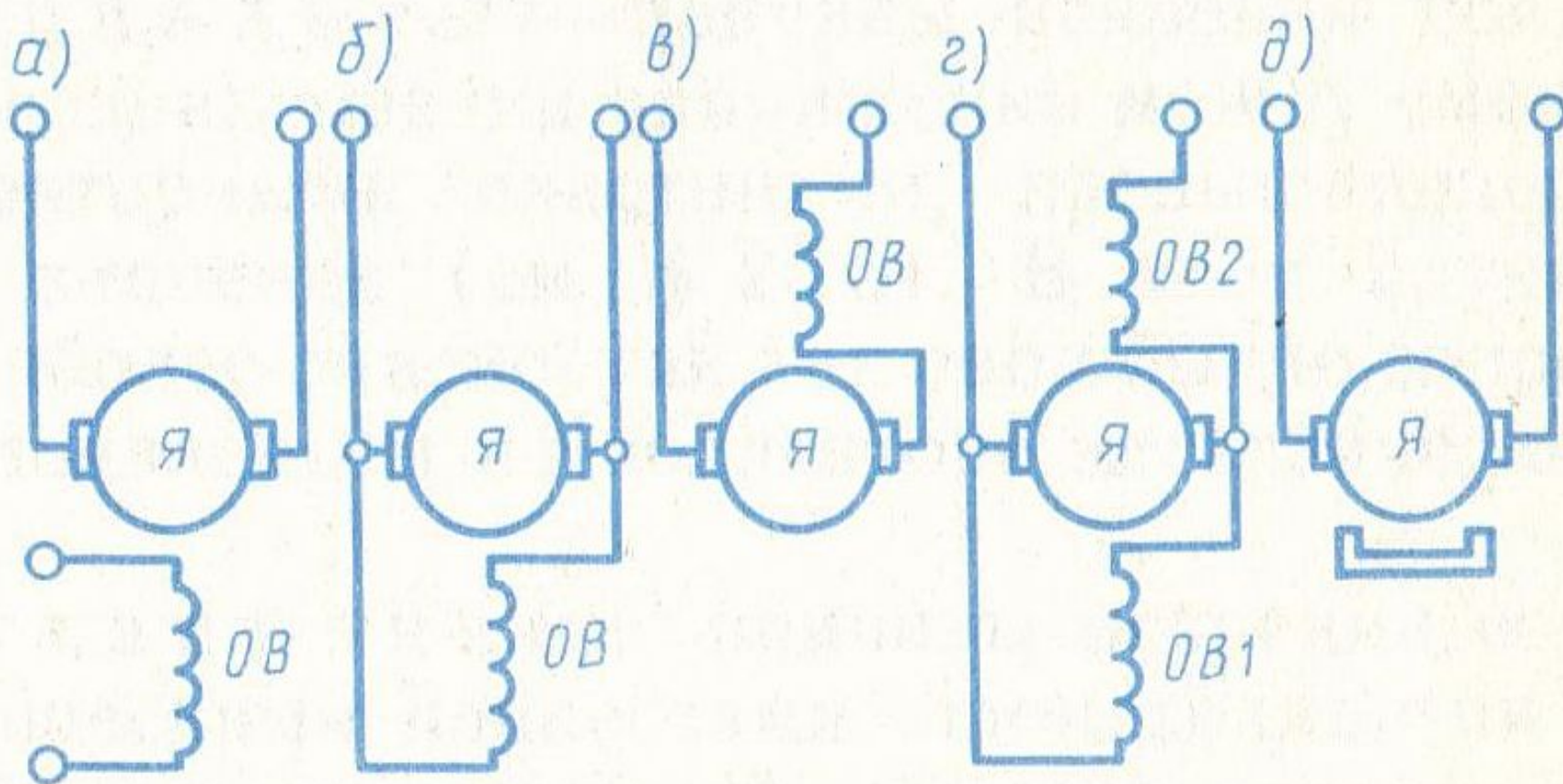


Рис. 11. Способы возбуждения машин постоянного тока



Генераторы постоянного тока и их основные характеристики

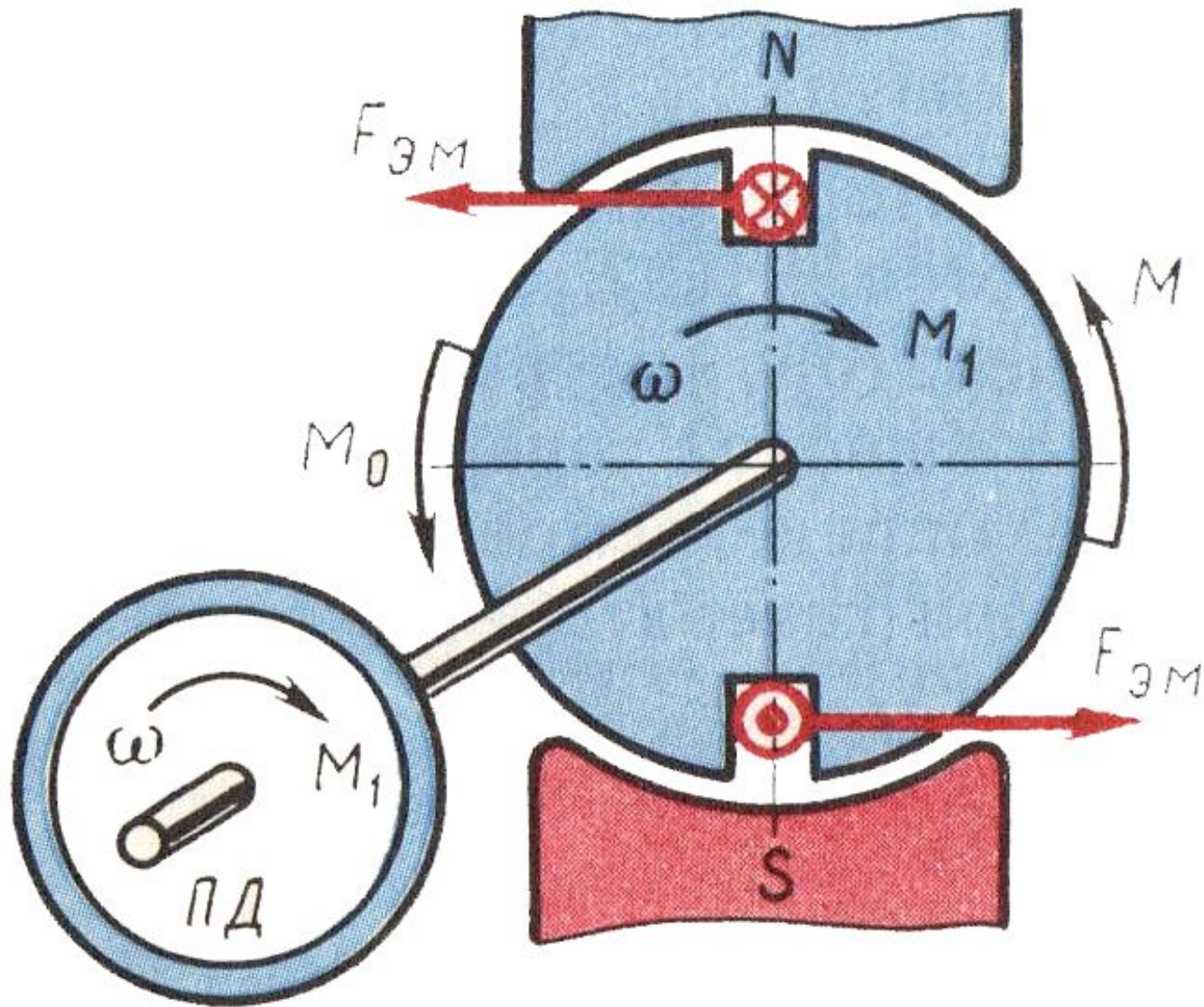


Рис. 12. Моменты, действующие в генераторе постоянного тока

Уравнение мощностей для генератора постоянного тока:

$$P_1 = P_2 + P_0 + P_{\text{э.а}} + P_{\text{э.в}} \quad (11)$$

Следовательно, *механическая мощность, развиваемая приводным двигателем P_1 , преобразуется в генераторе в полезную электрическую мощность P_2 , передаваемую нагрузке, и мощность, затрачиваемую на покрытие потерь ($P_0 + P_{\text{э.а}} + P_{\text{э.в}}$).*

Генератор независимого возбуждения

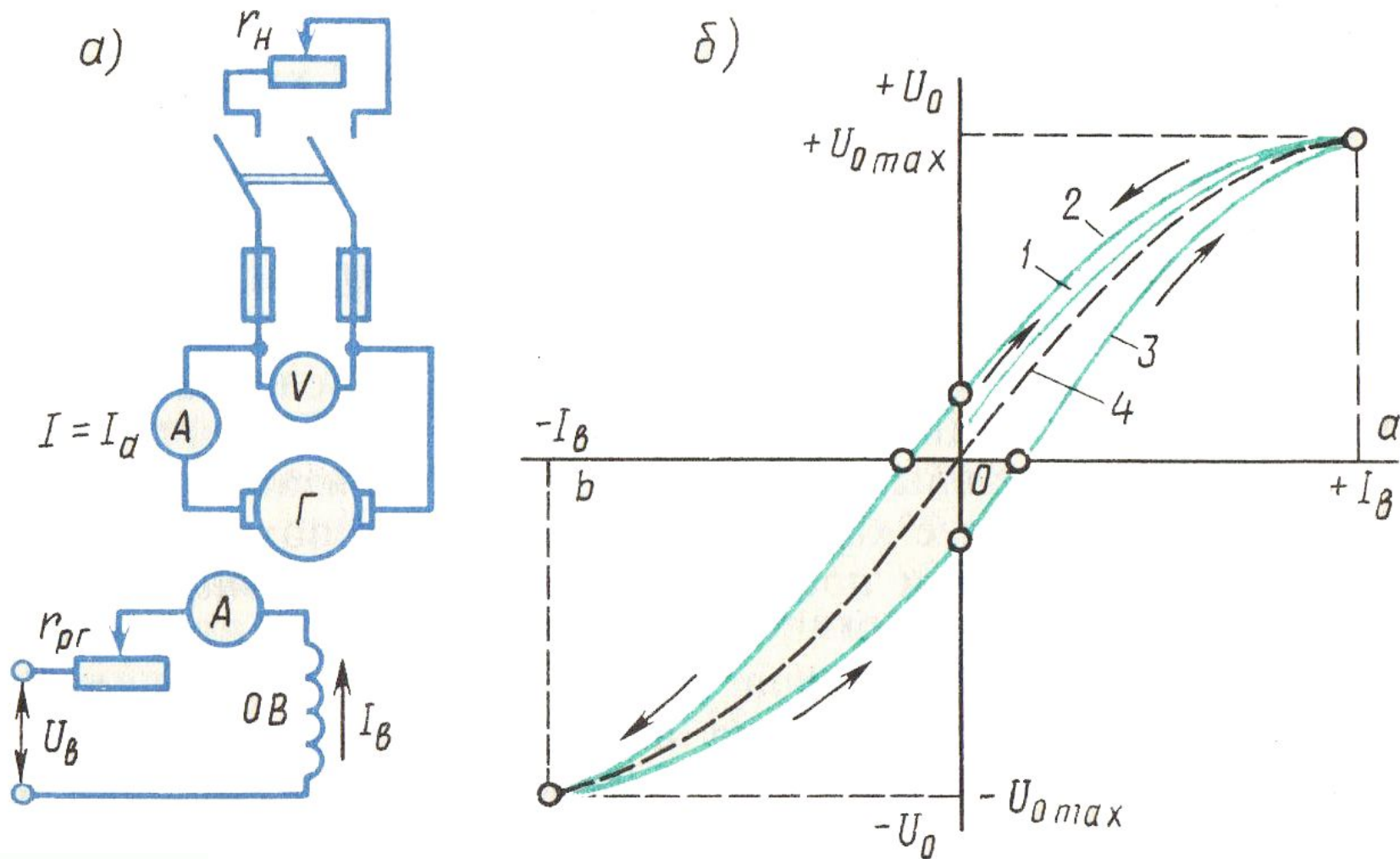


Рис. 13. Принципиальная схема (а) и характеристики х.х. (б) генератора независимого возбуждения

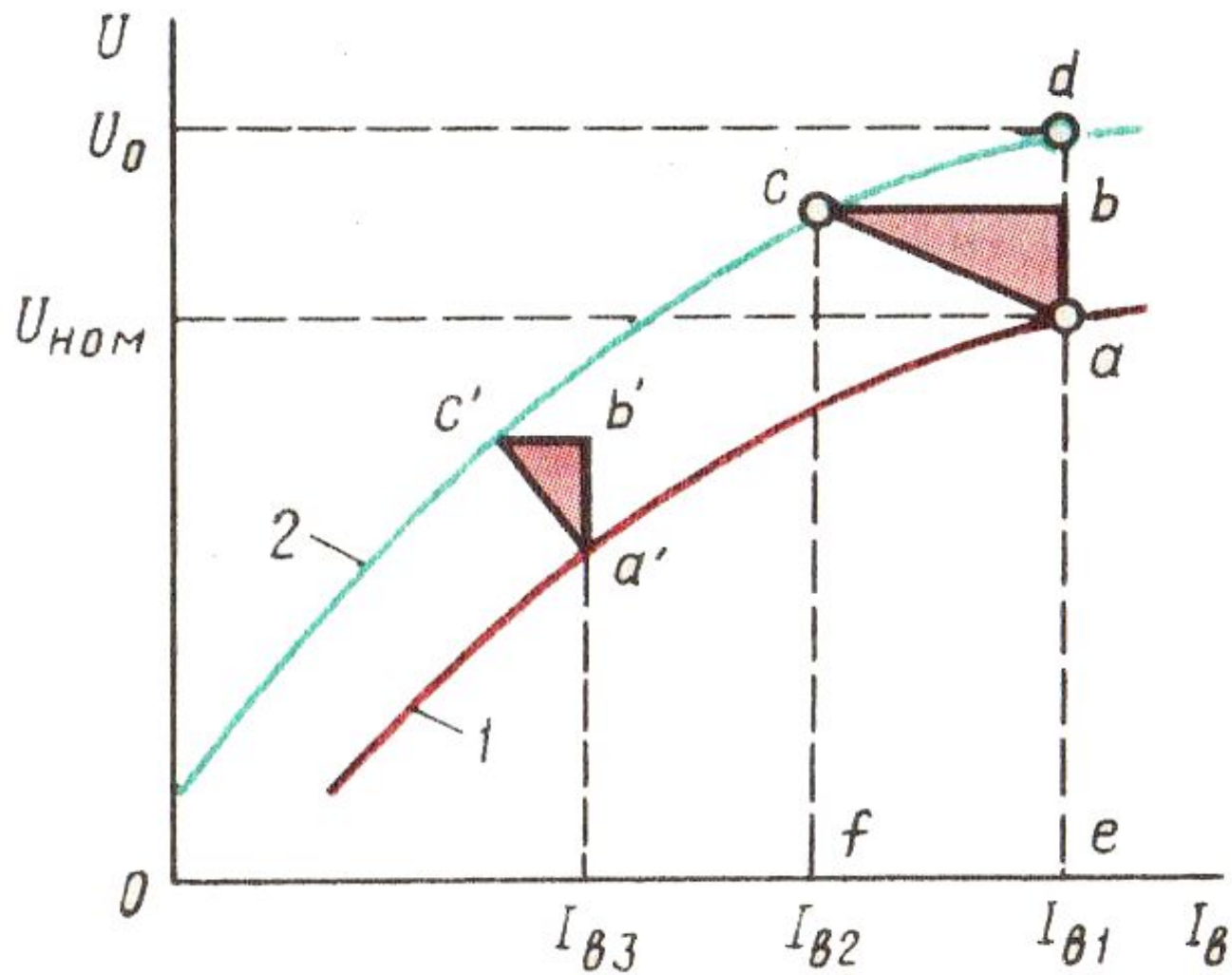


Рис. 14. Нагрузочная характеристика генератора независимого возбуждения

Внешняя характеристика генератора.

Номинальное изменение напряжения генератора при сбросе нагрузки:

$$\Delta U_{\text{НОМ}} = \frac{U_0 - U_{\text{НОМ}}}{U_{\text{НОМ}}} \cdot 100\%. \quad (12)$$

Обычно для генератора независимого возбуждения $\Delta U_{\text{НОМ}} = 5 \div 10\%$.

Регулировочная характеристика генератора.

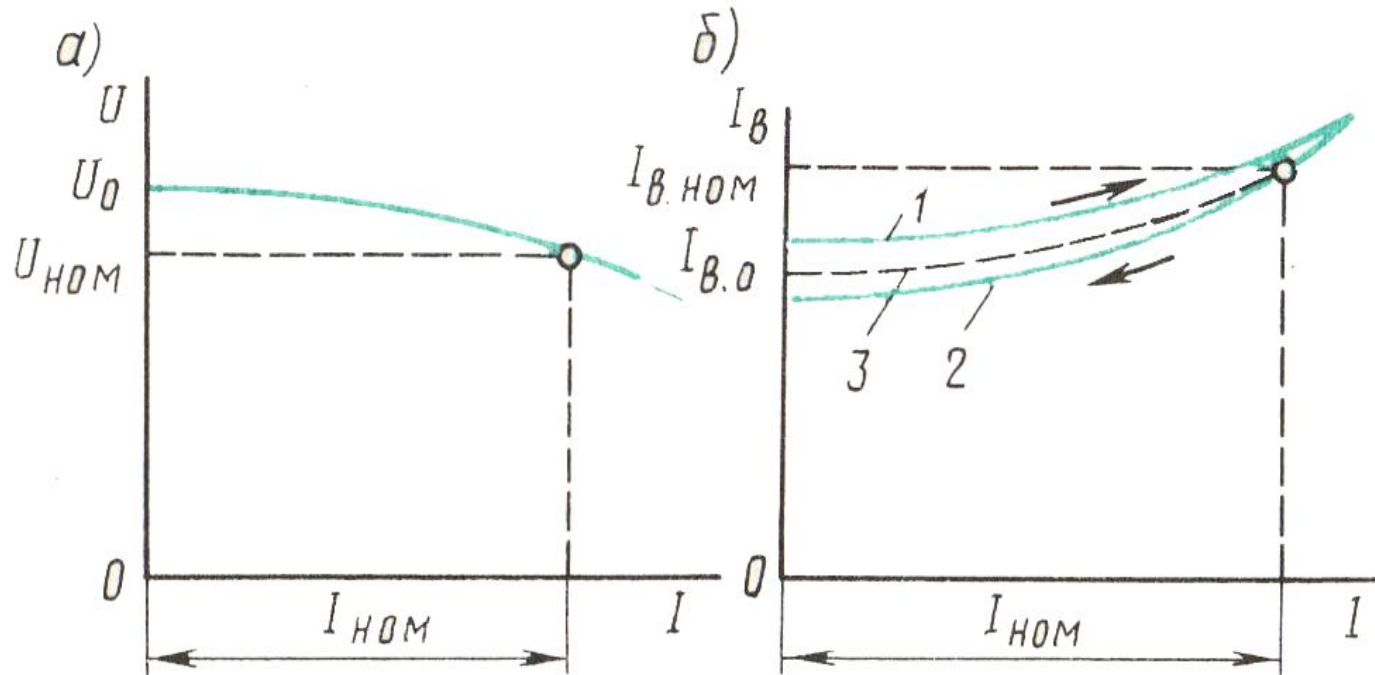


Рис. 15. Внешняя (а) и регулировочная (б) характеристики генератора независимого возбуждения

Генератор параллельного возбуждения

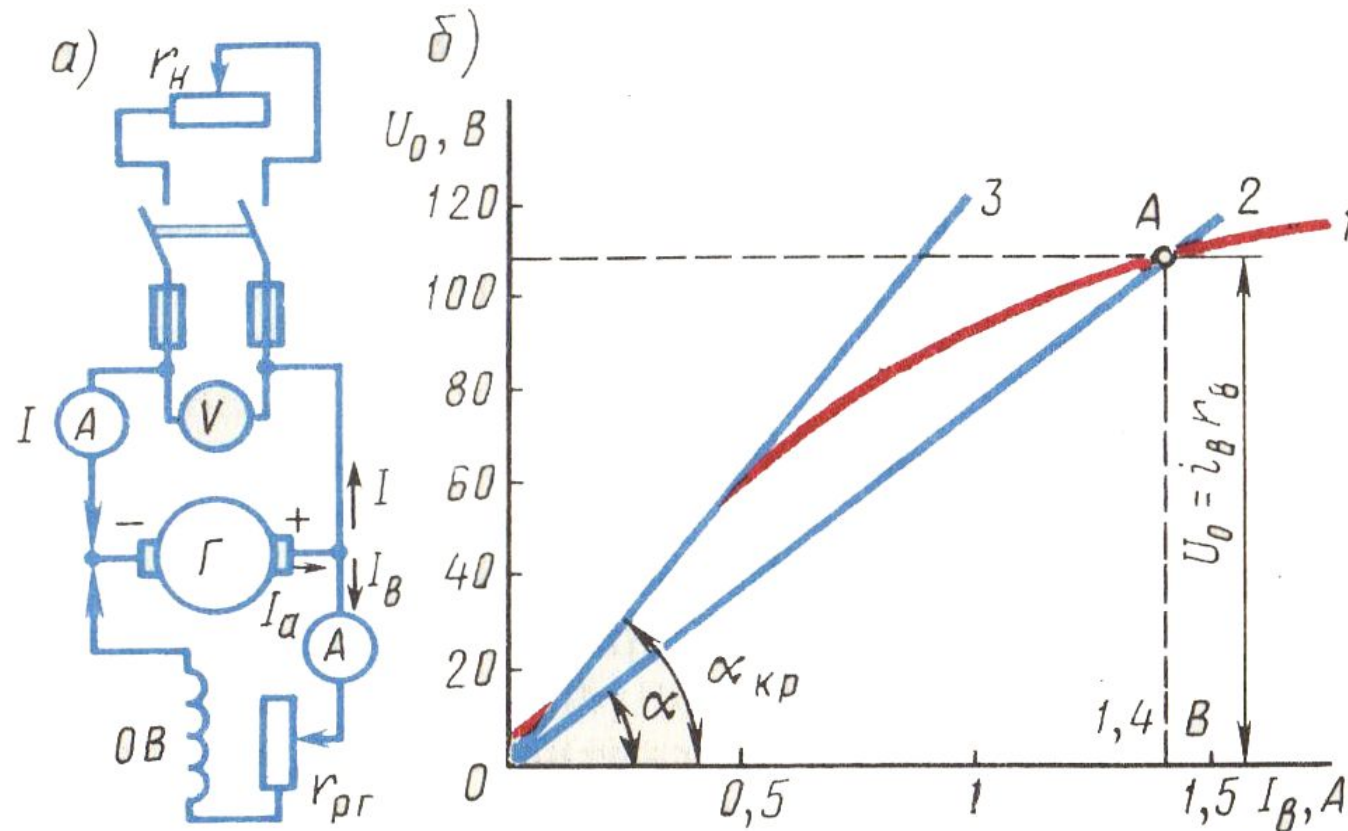


Рис. 16. Принципиальная схема (а) и характеристика х. х. (б) генератора параллельного возбуждения

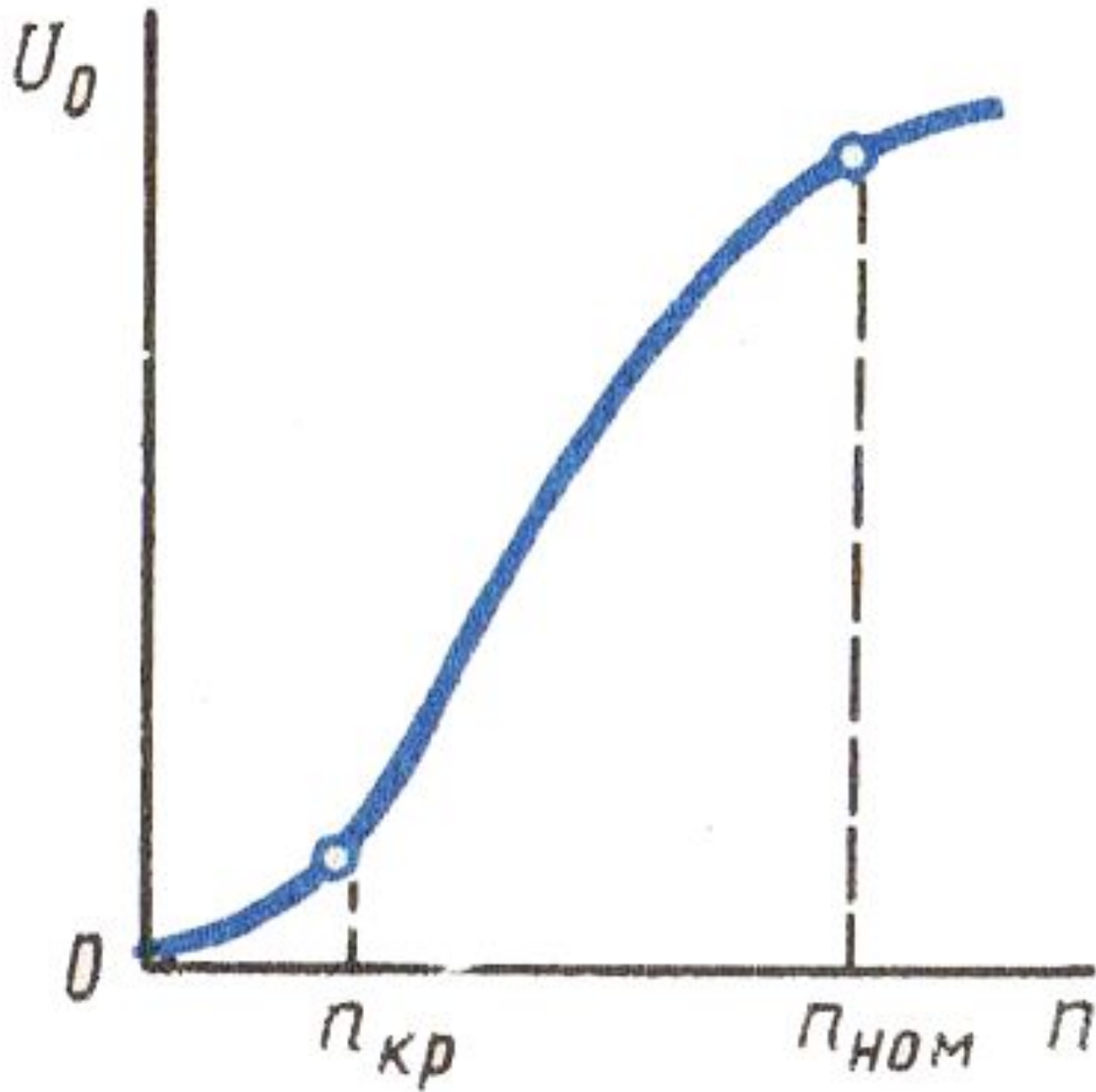


Рис. 17. Характеристика самовозбуждения

Внешняя характеристика генератора параллельного возбуждения 1 (рис. 18) менее жесткая, чем у генератора независимого возбуждения.

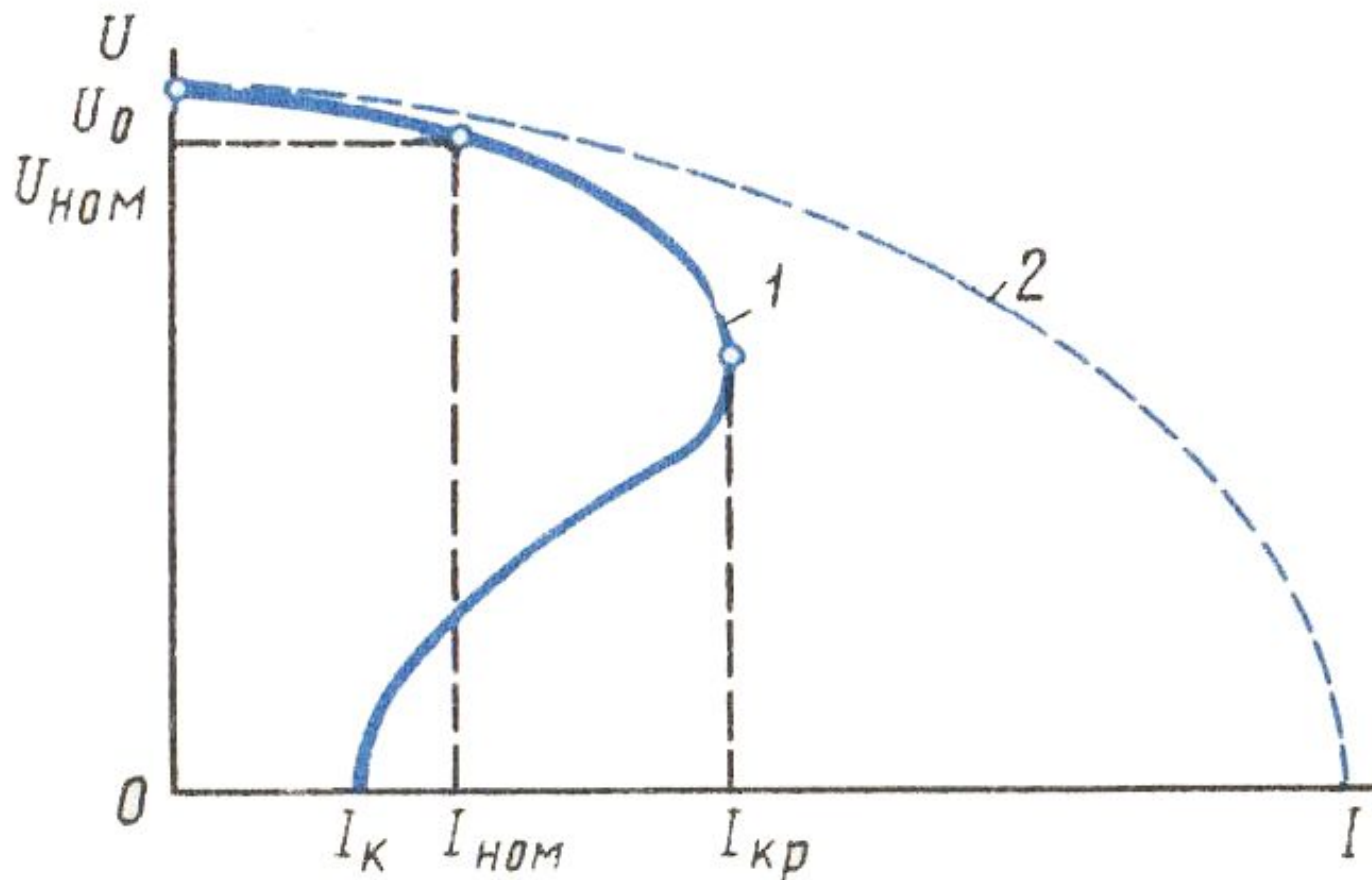


Рис. 18. Внешняя характеристика генератора параллельного возбуждения

Генератор смешанного возбуждения

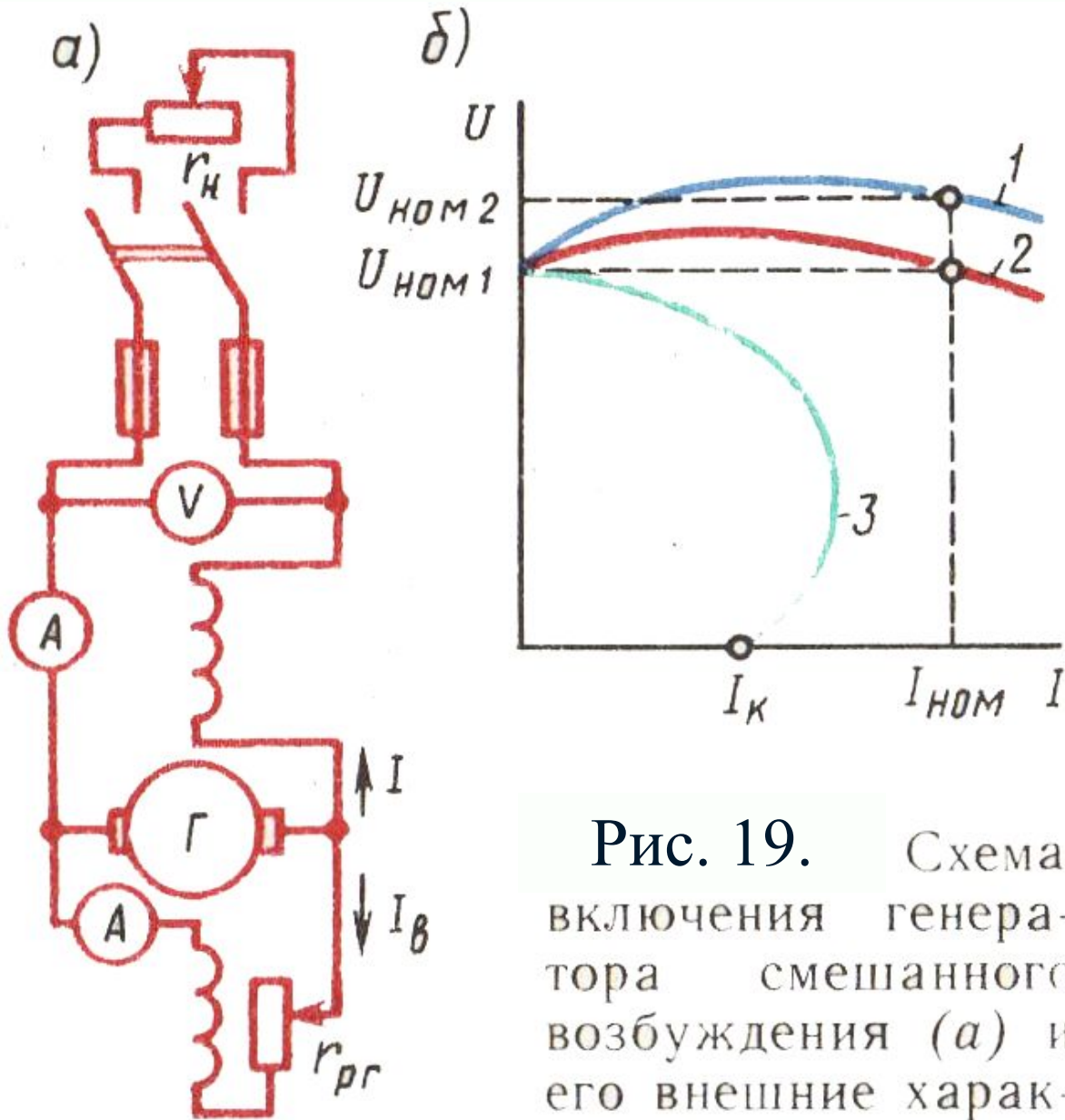
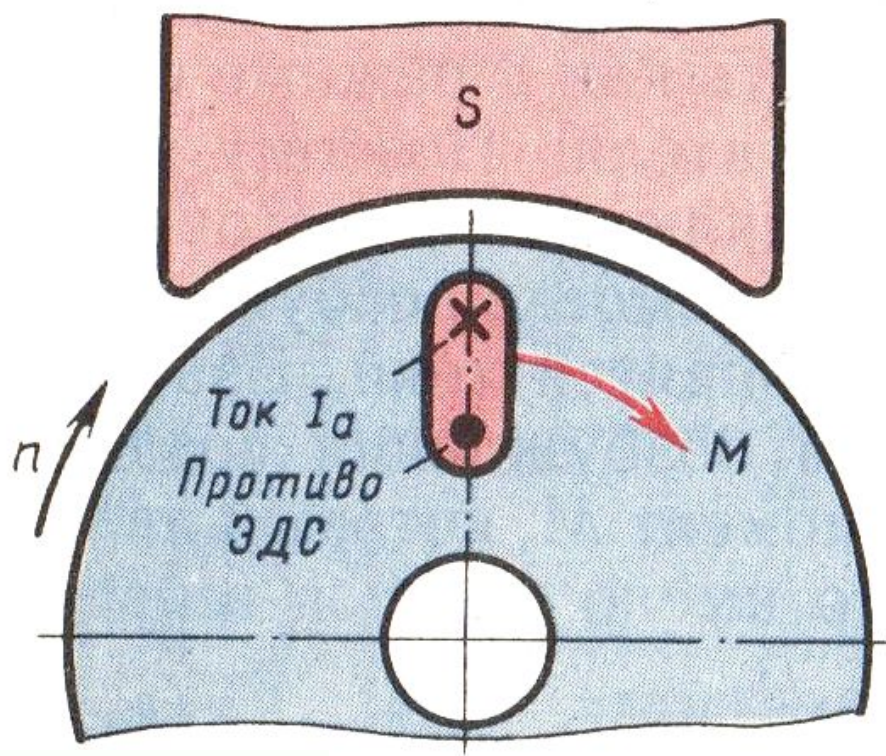


Рис. 19. Схема включения генератора смешанного возбуждения (а) и его внешние характеристики (б)



Коллекторные двигатели

Основные понятия



Для двигателя, работающего с постоянной частотой вращения,

$$U = E_a + I_a \Sigma r \quad (13)$$

Уравнение мощности для цепи якоря:

$$UI_a = I_a^2 \Sigma r + E_a I_a, \quad (14)$$

Рис. 20. Направление против-во-ЭДС в обмотке якоря двигателя

$$UI_a = M\omega + I_a^2 \Sigma r. \quad (15)$$

Анализ этого уравнения показывает, что с увеличением нагрузки на вал двигателя, т. е. с увеличением электромагнитного момента M , возрастает мощность в цепи обмотки якоря UI_a , т. е. мощность на входе двигателя. Но так как напряжение, подводимое к двигателю, поддерживается неизменным ($U = \text{const}$), то увеличение нагрузки двигателя сопровождается ростом тока в обмотке якоря I_a .

В соответствии с формулой ЭДС $E_a = c_e \Phi n$ частота вращения двигателя (об/мин)

$$n = E_a / (c_e \Phi). \quad (16)$$

Подставив значение E_a из (29.1), получим (об/мин)

$$n = \frac{U - I_a \Sigma r}{c_e \Phi}, \quad (17)$$

т. е. частота вращения двигателя прямо пропорциональна напряжению и обратно пропорциональна магнитному потоку возбуждения.

Пуск двигателя

Пусковой ток

$$I'_a = U / \Sigma r. \quad (18)$$

Пусковой ток якоря
при полном
сопротивлении
пускового реостата

$$I_{\Pi} = \frac{U - E_a}{\Sigma r + r_{\text{п.р}}}. \quad (19)$$

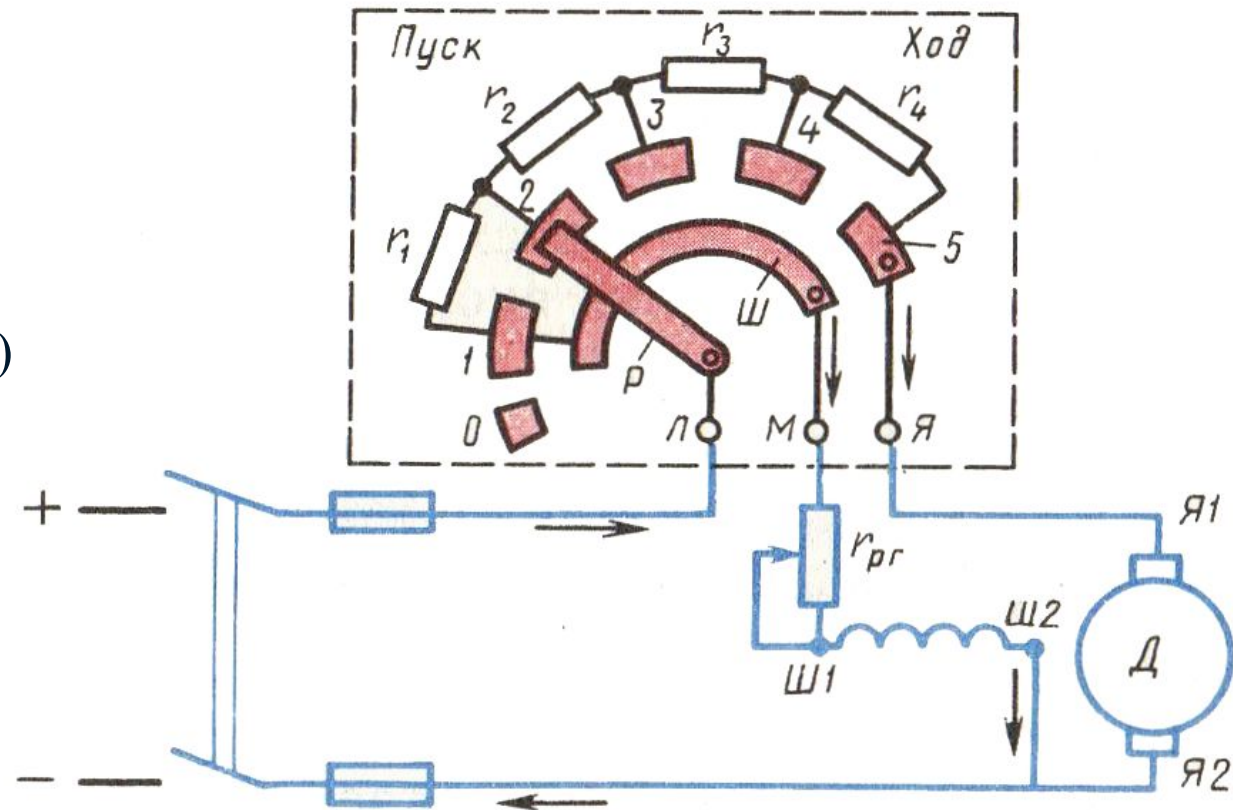


Рис. 21. Схема включения пускового реостата

Двигатель параллельного возбуждения

Номинальное изменение частоты вращения:

$$\Delta n_{\text{НОМ}} = \frac{n_0 - n_{\text{НОМ}}}{n_{\text{НОМ}}} \cdot 100, \quad (20)$$

Обычно для двигателей параллельного возбуждения

$$\Delta n_{\text{НОМ}} = 2 \div 8\%$$

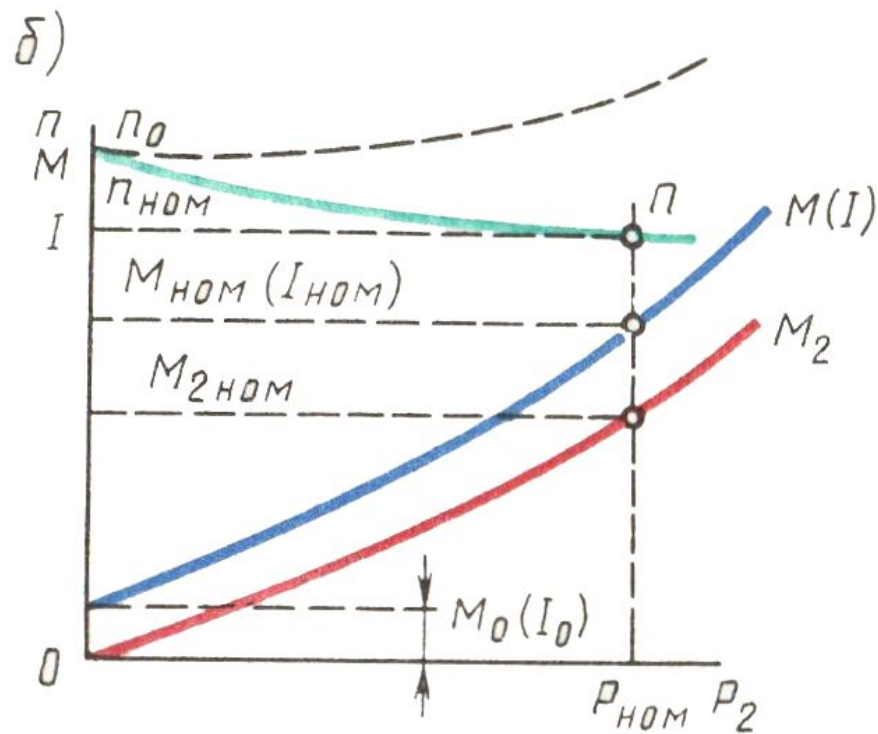
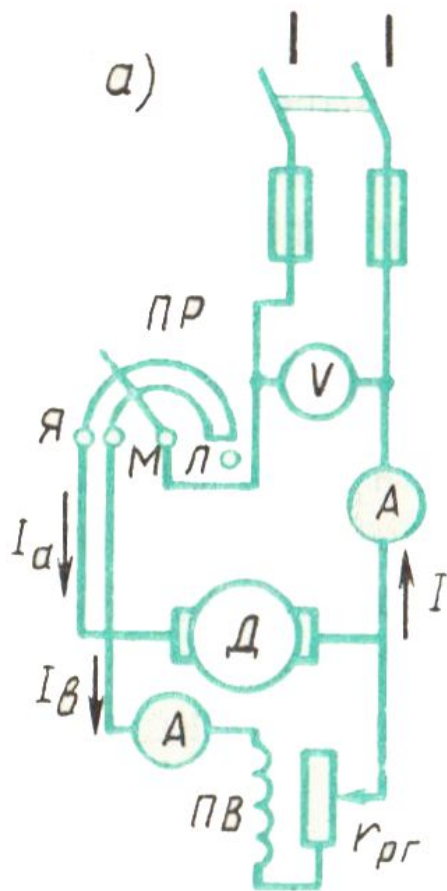


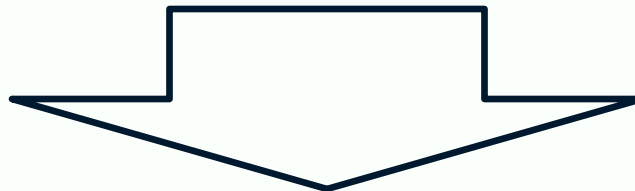
Рис. 22. Схема двигателя параллельного возбуждения (а) и его рабочие характеристики (б)

Для получения аналитического выражения *механической характеристики* $n = f(M)$ преобразуем выражение (29.5):

$$n = \frac{U - I_a \Sigma r}{c_e \Phi} = \frac{U}{c_e \Phi} - \frac{I_a \Sigma r}{c_e \Phi}; \quad (21)$$

$$n = \frac{U}{c_e \Phi} - \frac{M \Sigma r}{c_e c_M \Phi^2} = n_0 - \Delta n, \quad (22)$$

Ниже представлены *механические характеристики двигателя параллельного возбуждения:*



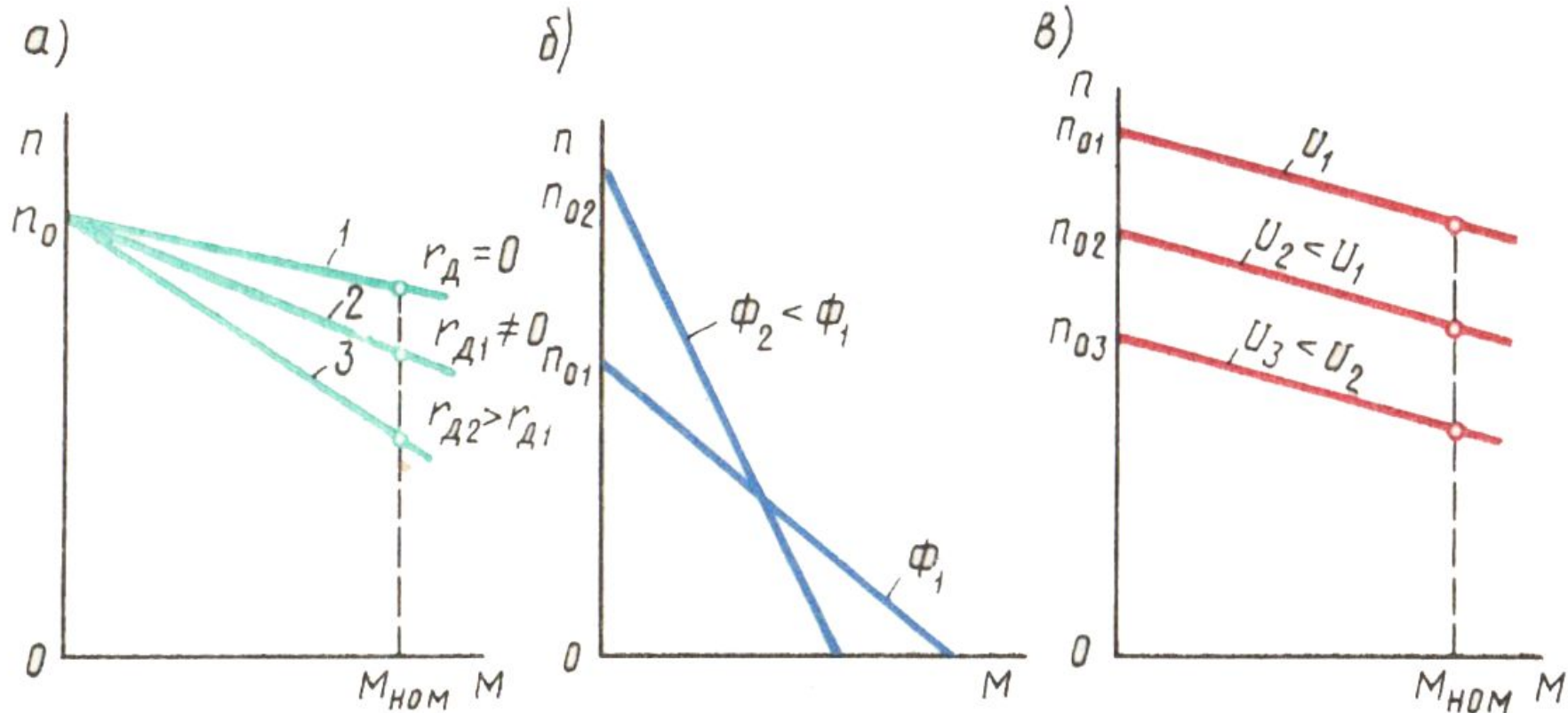


Рис. 23. Механические характеристики двигателя параллельного возбуждения:

- а – при введении в цепь якоря добавочного сопротивления;
- б – при изменении основного магнитного потока;
- в – при изменении напряжения в цепи якоря

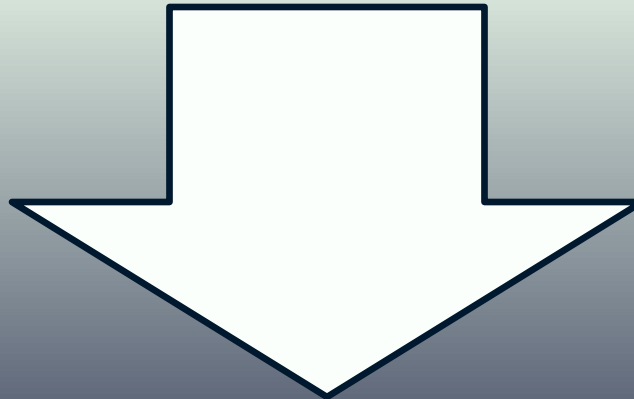
Двигатель последовательного возбуждения

Электромагнитный момент:

$$M = c_M k_\Phi I_a I_a = c'_M I_a^2. \quad (23)$$

Формула частоты вращения

$$n = \frac{U - I_a \Sigma r}{c_e k_\Phi I_a} = \frac{U - I_a \Sigma r}{c'_e I_a}. \quad (24)$$



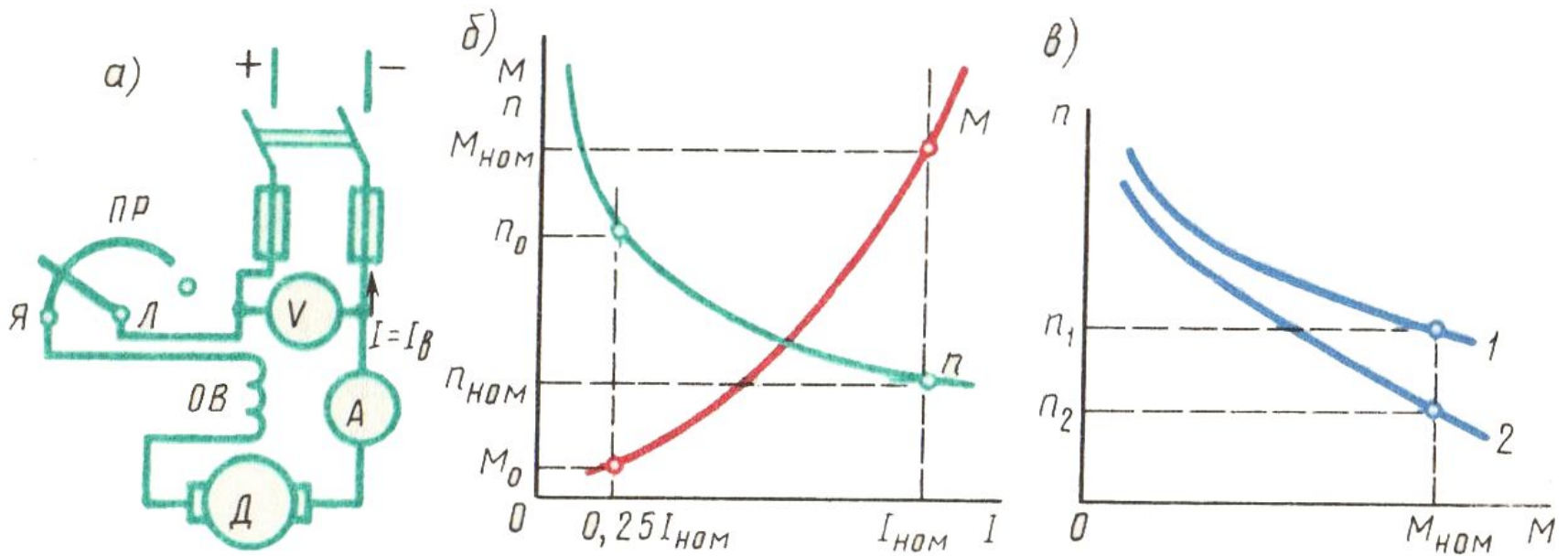


Рис. 24. Двигатель последовательного возбуждения:

- а – принципиальная схема;
- б – рабочие характеристики;
- в – механические характеристики;
- 1 – естественная характеристика;
- 2 – искусственная характеристика

Номинальное изменение частоты вращения двигателя последовательного возбуждения

$$\Delta n_{\text{НОМ}} = \frac{n_{[0,25]} - n_{\text{НОМ}}}{n_{\text{НОМ}}} \cdot 100\%, \quad (25)$$

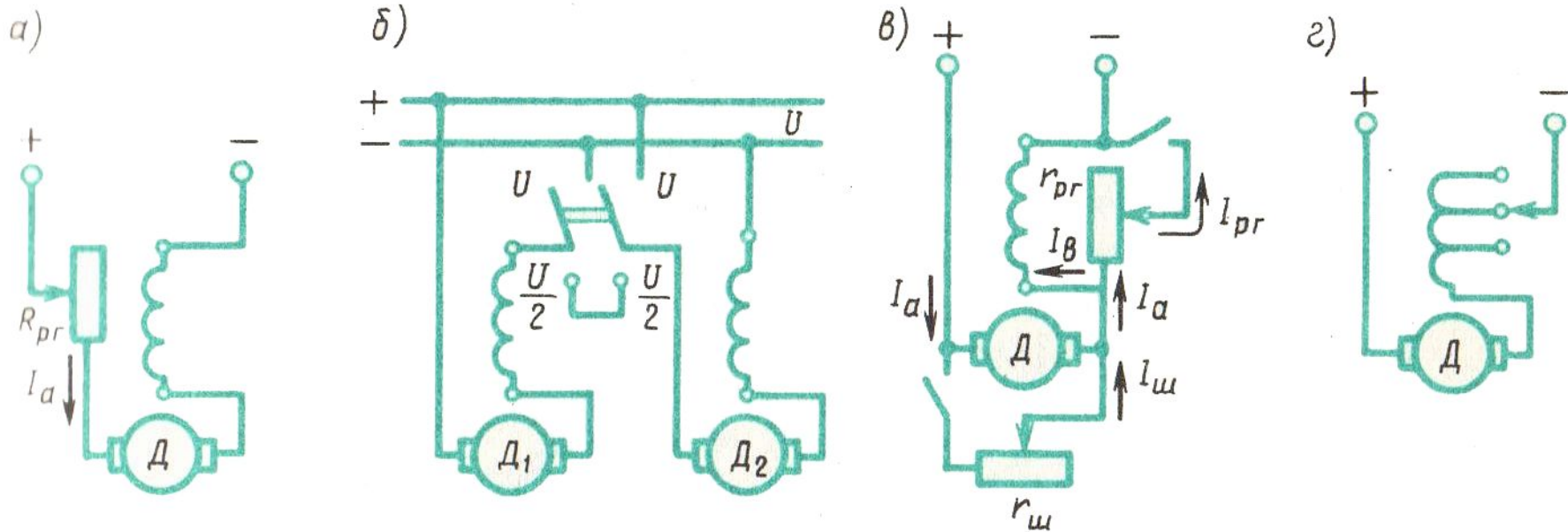


Рис. 25. Регулирование частоты вращения двигателей последовательного возбуждения

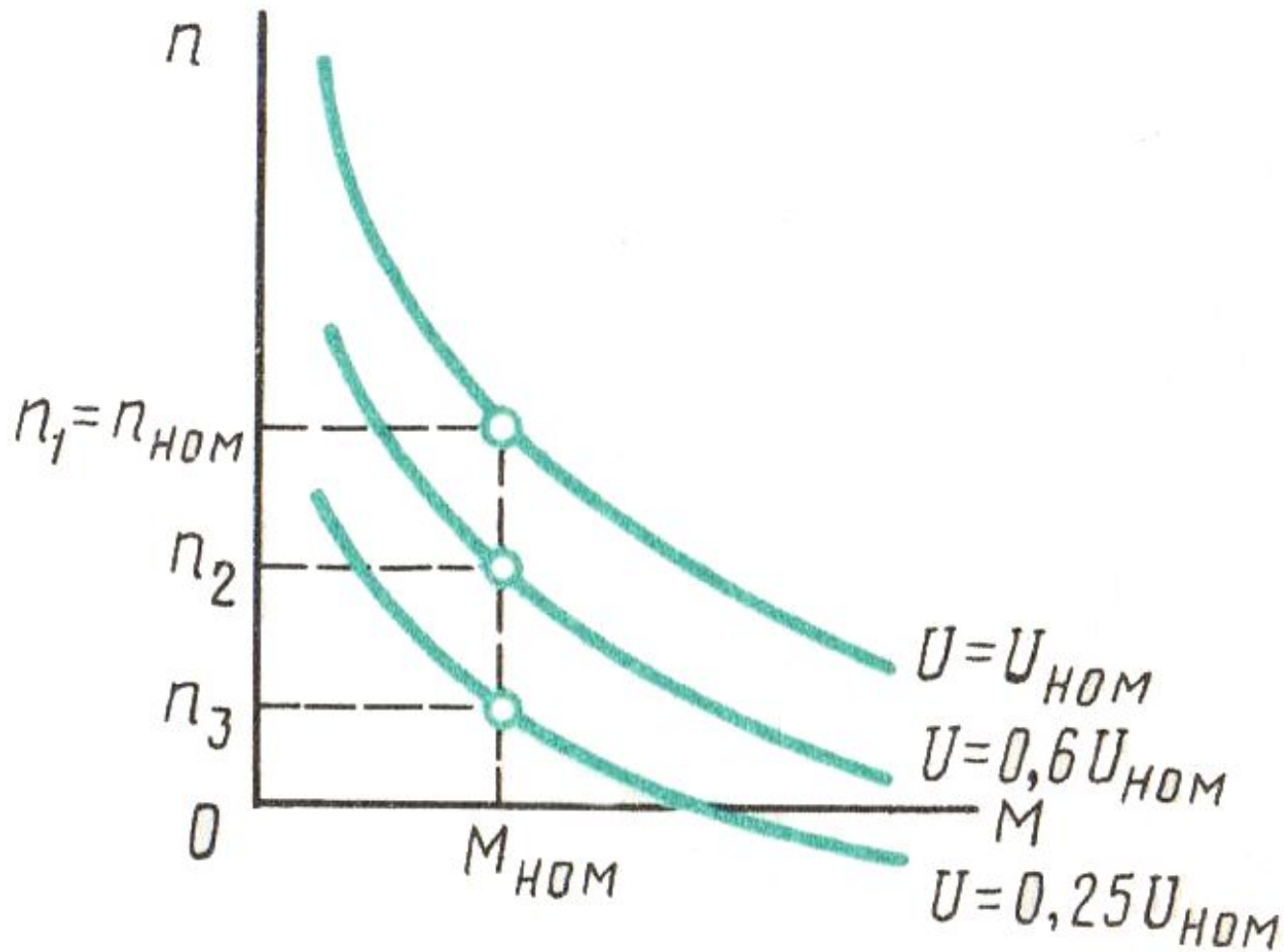


Рис. 26. Механические характеристики двигателя последовательного возбуждения при изменении подводимого напряжения

Двигатель смешанного возбуждения

Частота вращения этого двигателя

$$n = \frac{U - I_a \Sigma r}{c_e (\Phi_1 \pm \Phi_2)}, \quad (26)$$

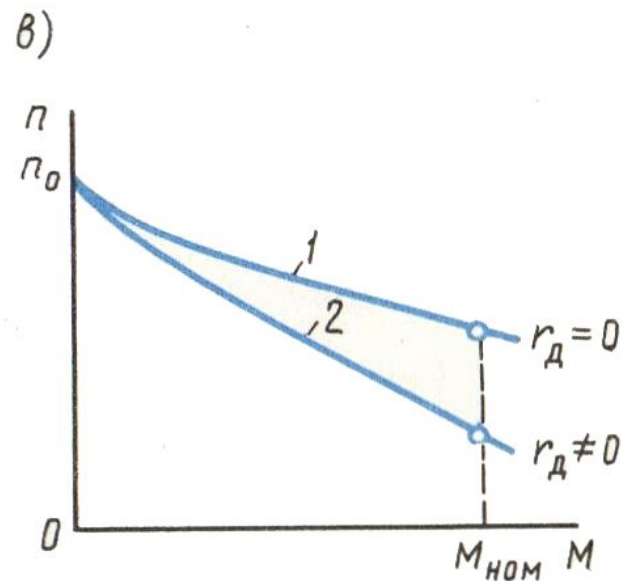
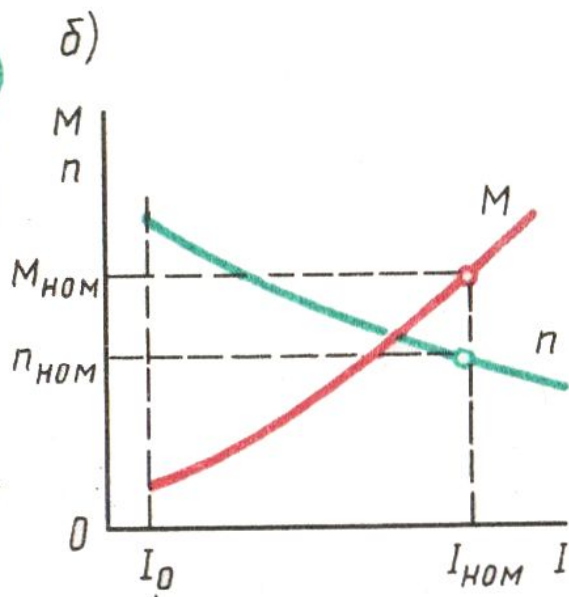
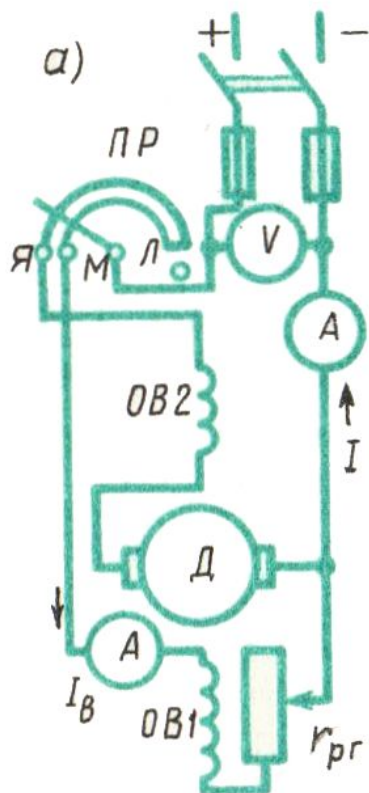


Рис. 26. Схема двигателя смешанного возбуждения (а), его рабочие (б) и механические (в) характеристики

Мощность (Вт) **на выходе машины** (полезная мощность):
для генератора (электрическая мощность)

$$P_{2\text{ген}} = UI; \quad (27)$$

для двигателя (механическая мощность)

$$P_{2\text{дв}} = 0,105M_2n. \quad (28)$$

Коэффициент полезного действия.

$$\eta = P_2 / P_1. \quad (29)$$

Определив суммарную мощность вышеперечисленных потерь

$$\Sigma P = P_M + P_{\text{мех}} + P_{\text{э.в}} + P_{\text{эа}} + P_{\text{эщ}} + P_{\text{д}}, \quad (30)$$

можно подсчитать КПД машины по одной из следующих формул:

для генератора

$$\eta_{\text{г}} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{UI}{UI + \Sigma P} = 1 - \frac{\Sigma P}{UI + \Sigma P}; \quad (31)$$

для двигателя

$$\eta_{\text{дв}} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{UI - \Sigma P}{UI} = 1 - \frac{\Sigma P}{UI}. \quad (32)$$

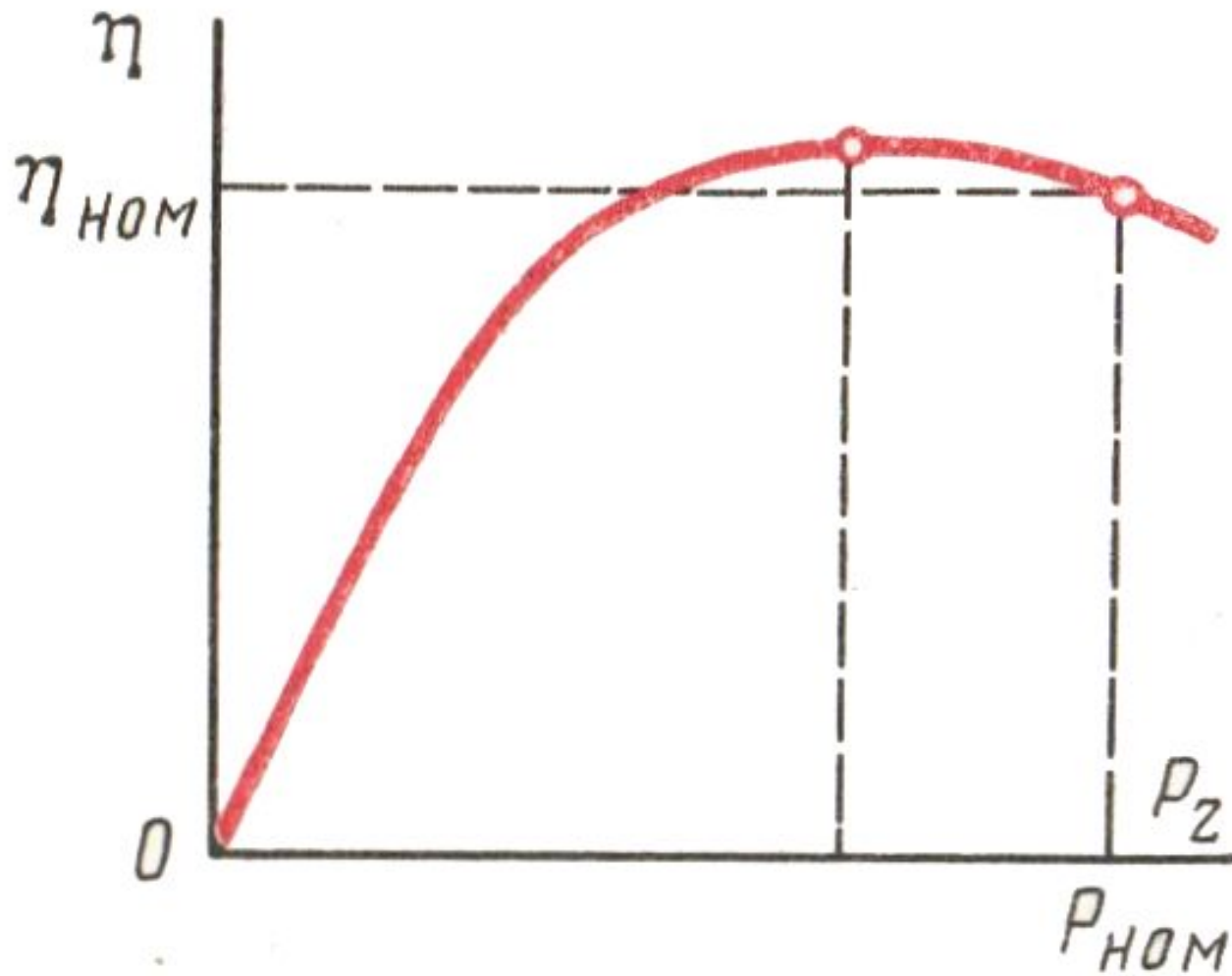


Рис. 28. Зависимость $\eta = f(P_2)$