



Тахогенераторы постоянного тока

Асинхронные тахогенераторы

Синхронные тахогенераторы

ТАХОГЕНЕРАТОРЫ

Тахогенераторы

Тахогенератором называют электрическую машину выходной сигнал которой пропорционален угловой частоте вращения ротора.

- ТГ постоянного тока
- Асинхронные ТГ
- Синхронные ТГ

$$U_{TG} = K_y \cdot n$$

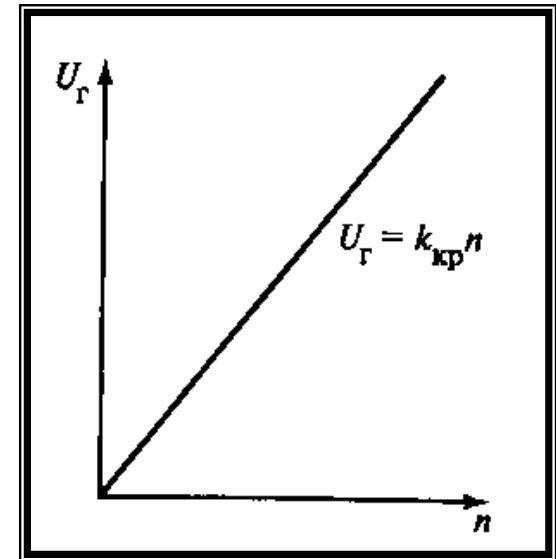
$$[K_y] = \left[\frac{mB}{\text{об/с}} \right] \rightarrow \text{Коэффициент усиления или крутизна}$$

Основные параметры

- Крутизна характеристики
- Линейность характеристики
- Погрешность

Требования к тахогенераторам

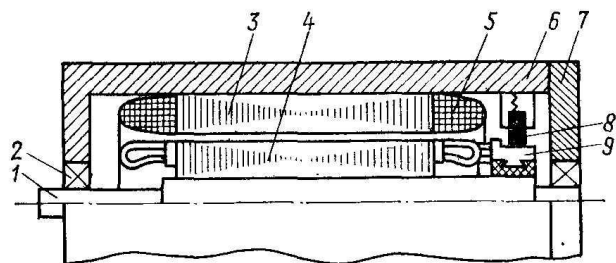
- высокая линейность выходной характеристики (прямая $U_r = k_{кр}n$ – идеальная характеристика)
- большая крутизна выходной характеристики $k_{кр} = U_r/n$
- симметрия выходного напряжения $|U_{r(+n)}| = |U_{r(-n)}|$
- минимальное остаточное напряжение U_{r0} при $n=0$
- минимальная зона нечувствительности n_{min} при $U_r=0$
- максимальная выходная мощность при минимальной потребляемой мощности
- минимальные пульсации выходного напряжения
- малый J ротора и собственный момент сопротивления
- стабильность выходной характеристики при изменении окружающих условий
- малые габариты и масса



Тахогенераторы постоянного тока

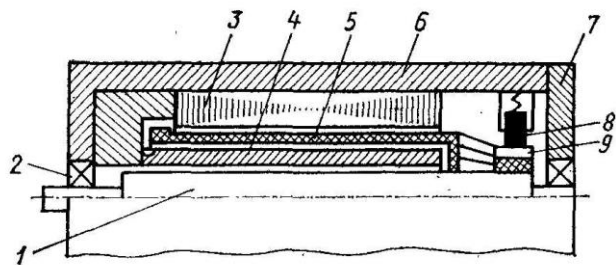


Устройство ТГ постоянного тока



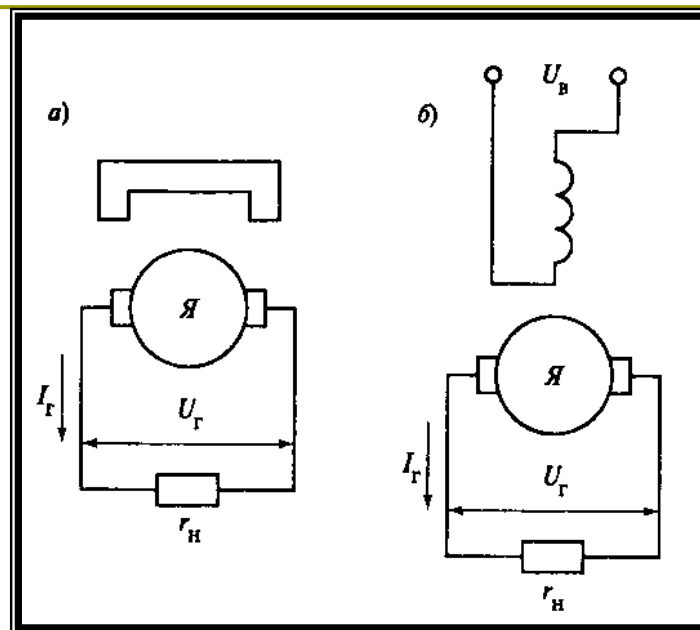
Конструктивная схема ТП с барабанным якорем

1 — вал; 2 — подшипник; 3 — магнитопровод статора (явнополюсный); 4 — якорь с обмоткой; 5 — обмотка возбуждения; 6 — корпус; 7 — подшипниковый щит; 8 — щетка; 9 — коллектор



Конструктивная схема ТП с полым якорем

1 — вал; 2 — подшипник; 3 — кольцевой магнитопровод статора; 4 — постоянный магнит с цилиндрическим отверстием; 5 — полый якорь; 6 — корпус; 7 — подшипниковый щит; 8 — щетка; 9 — коллектор

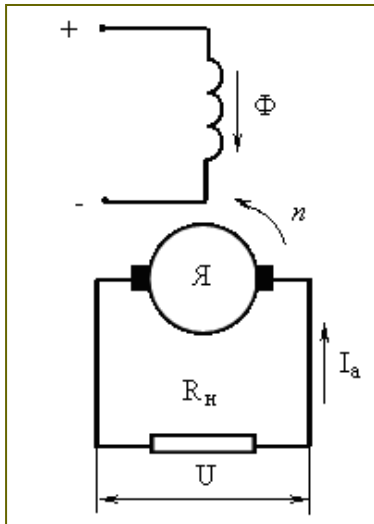


Основные конструктивные элементы:

- Индуктор — источник поля возбуждения
- Якорь
- Щеточно-коллекторный узел

Выходное напряжение ТГ постоянного тока (ТГП)

$$U_T = f(n) \text{ при } r_H = \text{Const}$$



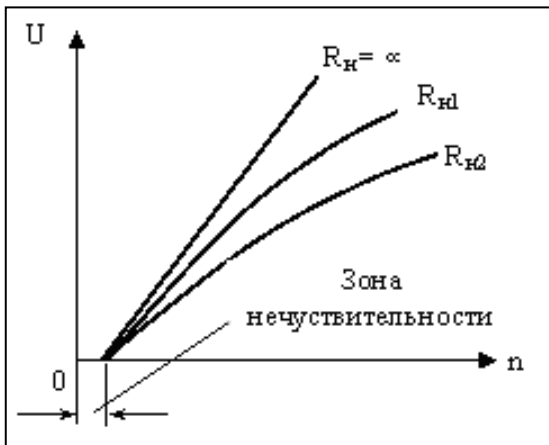
Выходное напряжение ТГП: $U_{ТГ} = E_{Я} - I_a \cdot R_a - \Delta U_{щ}$

ЭДС якоря: $E_{Я} = E_0 - \Delta E = c_e \cdot n \cdot (\Phi_B - \Delta \Phi_{ря})$

Поток реакции якоря: $\Delta \Phi_{ря} = \kappa_a \cdot I_a$;

Ток якоря: $I_a = \frac{U_{ТГ}}{R_H}$

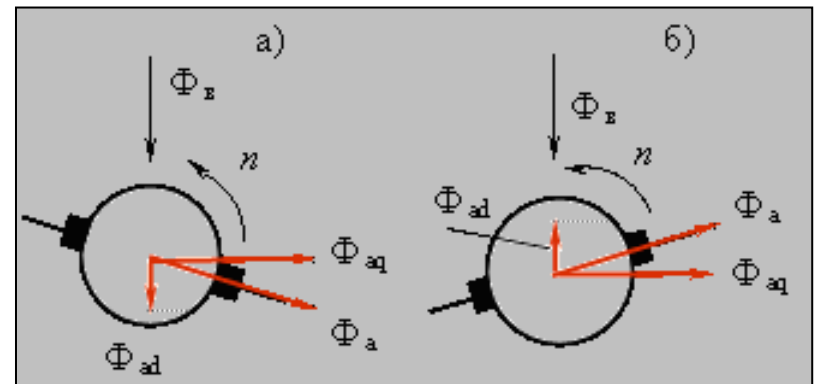
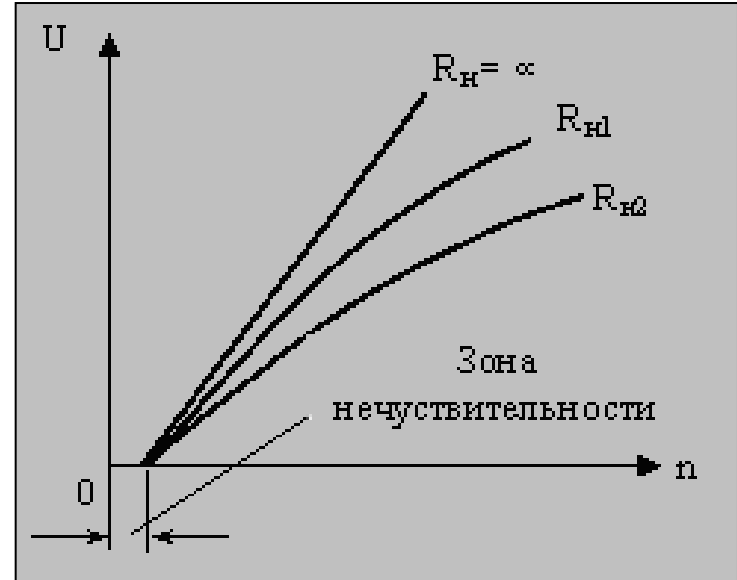
Уравнение выходной характеристики:



$$U_{ТГ} = \frac{c_e \cdot \Phi_B n - \Delta U_{щ}}{1 + \frac{R_a}{R_H} + c_e \cdot \kappa_a \cdot \frac{n}{R_H}}$$

Погрешности ТГ постоянного тока

- ❑ Зона нечувствительности
- ❑ Нелинейность выходной характеристики
- ❑ Температурная погрешность
- ❑ Асимметрия выходного напряжения
 - Зубцовые
 - Якорные
 - Коллекторные



Уменьшение погрешностей ТГ постоянного тока

- Уменьшение переходного сопротивления щеточного узла
- Уменьшение насыщения магнитной цепи
- Точная установка щеточного узла
- Использование скоса пазов и выбор ширины полюсных наконечников
- Увеличение воздушного зазора, веерообразная шихтовка
- Увеличение числа коллекторных пластин



Преимущества и недостатки ТГ постоянного тока

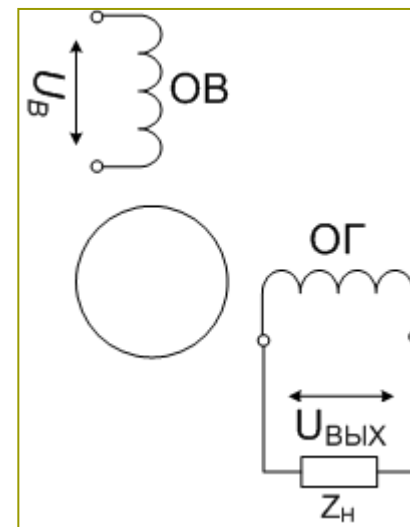
Преимущества:

- Малые габариты и масса
- Большая выходная мощность
- Отсутствие источника питания у ТГ с постоянными магнитами

Недостатки:

- Наличие щеточно-коллекторного узла
 - Наличие зоны нечувствительности
 - Несимметрия выходной характеристики
 - Пульсации выходного напряжения
 - Излучение радиопомех

Асинхронные тахогенераторы (АТГ)



Конструктивно АТГ аналогичен двухфазному асинхронному электродвигателю с полым немагнитным ротором:

- на статоре две обмотки сдвинутые в пространстве на 90°
- ОВ – обмотка возбуждения, подключаемая к сети
- ОГ – генераторная обмотка, выдающая выходной сигнал (напряжение)

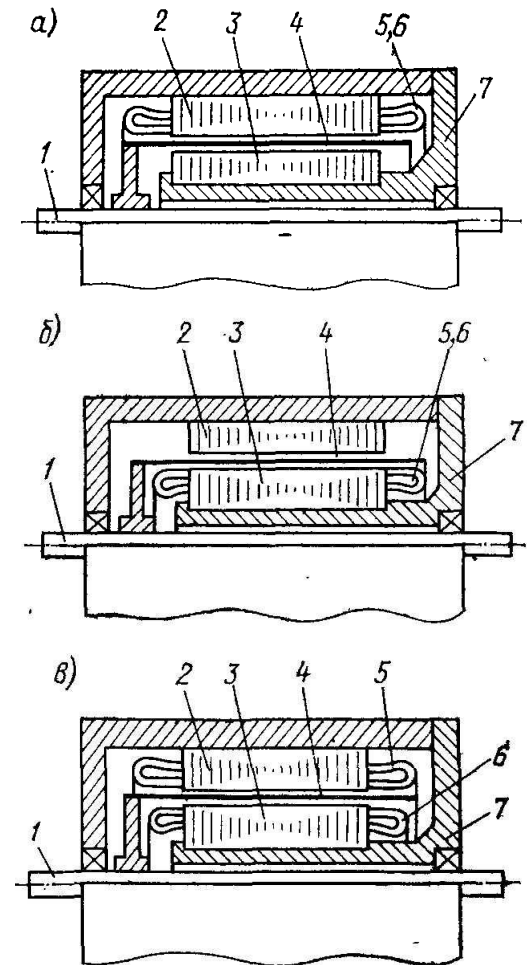
Варианты конструктивного исполнения АТГ

- а) – две обмотки на внешнем статоре
- в) – две обмотки на внутреннем статоре
- с) – одна обмотка на внешнем, другая на внутреннем статоре

Ротор из материала с повышенным удельным сопротивлением (константан, манганин, фосфористая или марганцовистая бронза).

На рисунках:

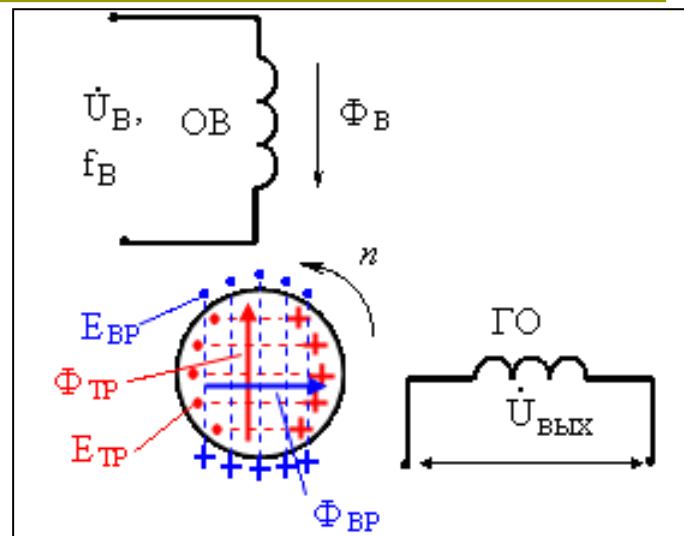
- 1. вал
- 2. внешний статор
- 3. внутренний статор
- 4. полый немагнитный ротор
- 5. обмотка возбуждения
- 6. генераторная обмотка



Принцип действия АТГ

При неподвижном роторе:

- $\sim U_B \rightarrow \Phi_B$ (пульсирующий по оси d) $\rightarrow$
- $\rightarrow$ трансформаторная ЭДС в роторе $E_{TP} \rightarrow$
- $\rightarrow$ токи в проводящем роторе (по оси d) $\rightarrow$
- $\rightarrow$ пульсирующий Φ_{TP} (по оси d) $\rightarrow$
- $\rightarrow$ **Теоретически** в ГО (по оси q) ЭДС = 0



При вращающемся роторе кроме трансформаторной ЭДС:

- $\rightarrow$ ЭДС вращения в роторе $E_{BR} \sim \Phi_B n \rightarrow$
- $\rightarrow$ токи в проводящем роторе (по оси q) $\rightarrow$
- $\rightarrow$ поток ротора Φ_{BR} (по оси q) $\rightarrow$
- $\rightarrow$ ЭДС в ОГ $E_r \rightarrow$
- $\rightarrow$ Величина $E_r \sim n$

Уравнения асинхронного ТГ

На основании теории обобщенной электрической машины:

$$\begin{bmatrix} \underline{Z}_B + jx_m & 0 & jx_m & 0 \\ 0 & \underline{Z}'_\Gamma + jx_m & 0 & jx_m \\ jx_m & -\nu x_m & r + jx_m & -\nu x_m \\ \nu x_m & jx_m & \nu x_m & r + jx_m \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \dot{I}_B \\ \dot{I}_\Gamma \\ \dot{I}_d \\ \dot{I}_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{U}_B \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

где

$$\underline{Z}_B = r_B + jx_{BS}$$

$$\underline{Z}'_\Gamma = r_\Gamma + jx_{\Gamma S} + \underline{Z}_H = \underline{Z}_\Gamma + \underline{Z}_H$$

Выходные характеристики АТГ

На основании решения системы уравнений:

$$\dot{U}_\Gamma = \dot{I}_\Gamma \underline{Z}_H = \dot{U}_B \frac{(\underline{Z}_\Pi / \underline{Z}) x_m v}{\underline{Z}'_\Gamma \left[\underline{Z}_\Pi + \underline{Z}_B (j x_m / \underline{Z})^2 v^2 \right] + \underline{Z}_\Pi (\underline{Z}_B + \underline{Z}_\Pi)} \underline{Z}_H;$$

где $\underline{Z} = r + j x_m$; $\frac{1}{\underline{Z}_\Pi} = \frac{1}{r} + \frac{1}{j x_m}$

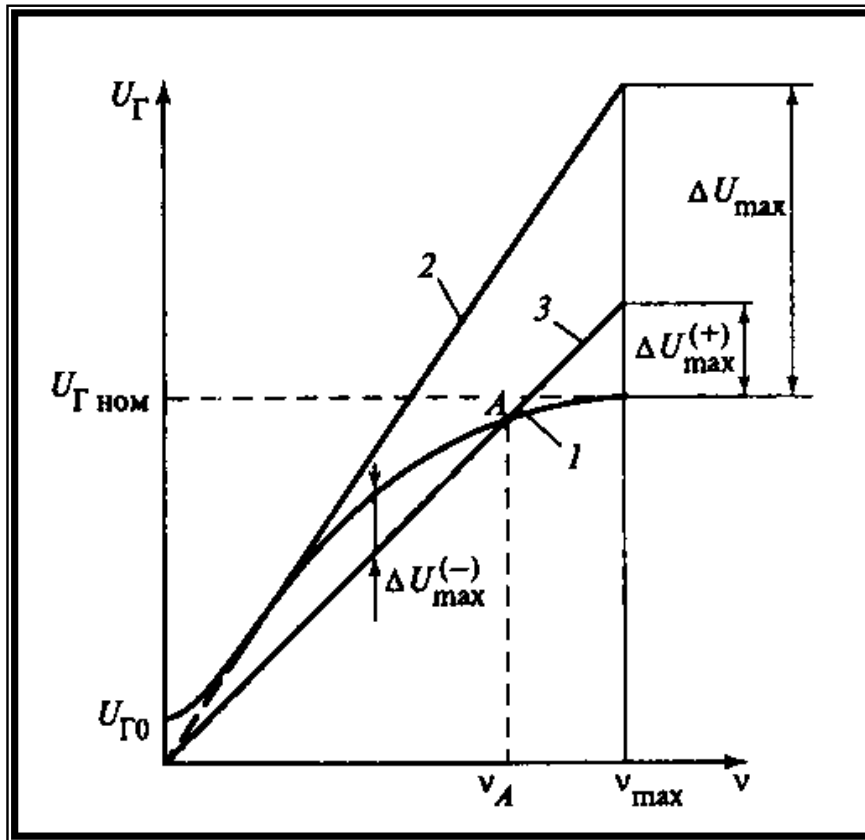
или

$$\dot{U}_\Gamma = \dot{U}_B \frac{v}{\underline{A} + \underline{B} v^2}$$

где

$$\underline{B} = \frac{\underline{Z}'_\Gamma \underline{Z}_B}{r}; \quad \underline{A} = \underline{Z} \frac{(\underline{Z}_\Pi + \underline{Z}_B)(\underline{Z}'_\Gamma + \underline{Z}_\Pi)}{\underline{Z}_\Pi x_m}$$

Выходная характеристика АТГ

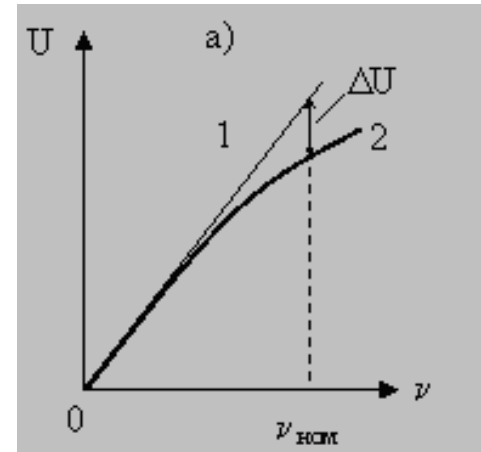


$$\dot{U}_{\Gamma} = \dot{U}_B \frac{v}{\underline{A} + \underline{B}v^2}$$

- 1 – реальная характеристика
- 2 – идеальная характеристика
- 3- калибровочная характеристика

Погрешности асинхронного тахогенератора

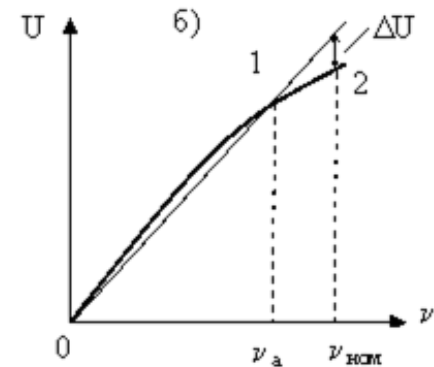
- Амплитудная
- Фазовая
- Остаточная ЭДС
- Асимметрия выходного напряжения
- Температурная погрешность



$$\dot{U}_Г = \dot{U}_Б \frac{v}{\underline{A} + \underline{B}v^2}$$

Уменьшение погрешностей АТГ

- Калибровка тахогенератора.
- Повышенная частота питания.
- Повышение сопротивления ротора.
- Использование для ротора материала с низким температурным коэффициентом сопротивления.
- Размещение обмоток на разных статорах.



АТГ при возбуждении постоянным током

- Постоянная частота вращения

$$n = \text{const}$$

$$\Phi_q = \text{const}$$

$$e_{\Gamma} = -w_{\Gamma} \frac{d\Phi_q}{dt} = 0$$

- Переменная частота вращения

$$n = \text{var}$$

$$\Phi_q = f(n)$$

$$e_{\Gamma} = -w_{\Gamma} \frac{d\Phi_q}{dt} = K \frac{dn}{dt}$$

При питании обмотки возбуждения постоянным током АТГ является датчиком ускорений.

Преимущества и недостатки АТГ

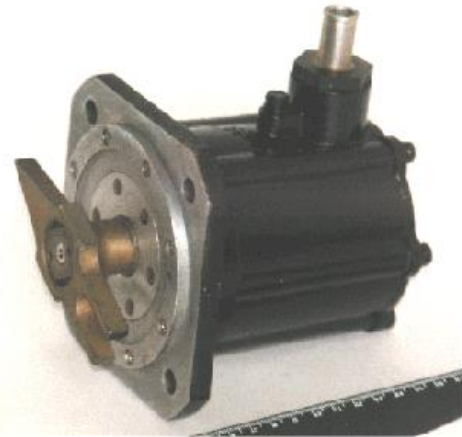
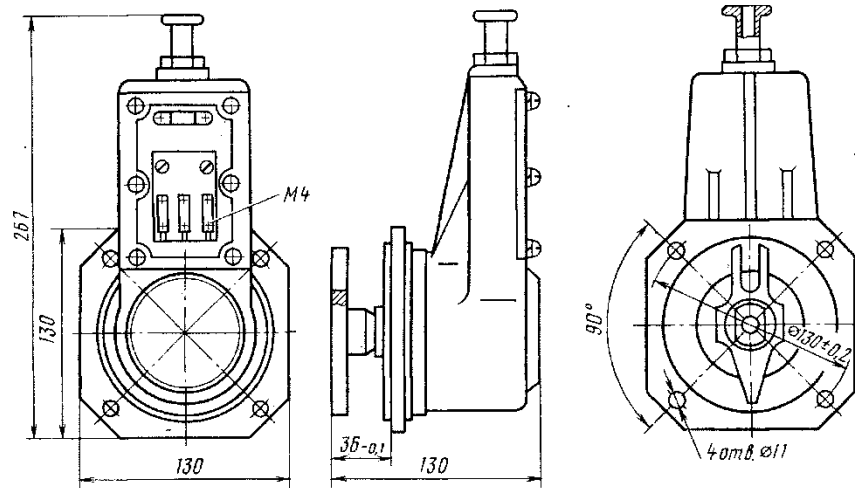
□ Преимущества

- Бесконтактность
- Малоинерционность
- Малый момент сопротивления вращению
- Отсутствие аксиальных и радиальных сил тяжения
- Надежность
- Стабильность характеристик

□ Недостатки

- Нелинейность выходных характеристик
- Фазовая погрешность
- Наличие остаточного напряжения
- Малая выходная мощность
- Низкий $\cos(\varphi)$
- Большие габариты и масса

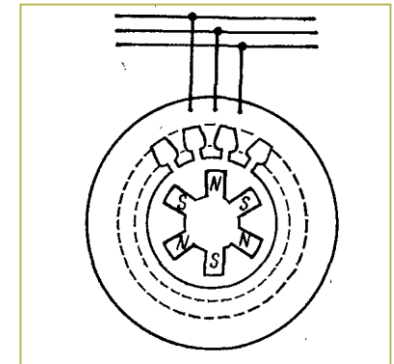
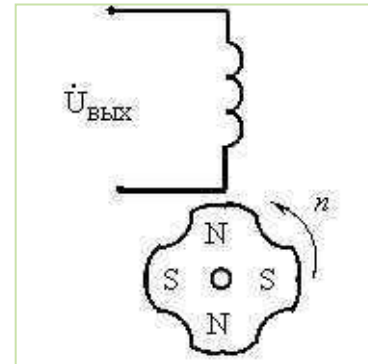
Синхронные тахогенераторы (СТГ)



- Магнитоэлектрические СТГ малой мощности
- Индукторные СТГ повышенной частоты

Магнитоэлектрические СГ

- Магнитоэлектрические синхронные ТГ:
 - ненасыщенная магнитная система
 - ротор – ПМ в виде звездочки (явнополюсный, бесконтактный)
 - на статоре – 1- или 3-фазная обмотка



ЭДС обмотки статора

$$E_{\Gamma} = 4.44 f w_{\Gamma} \Phi = 4.44 \frac{pn}{60} w_{\Gamma} \Phi = k_{кр} n$$

крутизна выходной характеристики

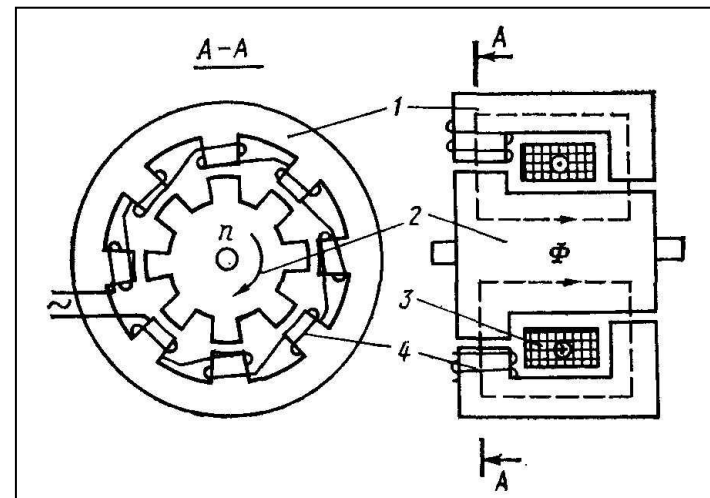
$$k_{кр} = 4.44 \frac{p}{60} w_{\Gamma} \Phi$$

Изменение частоты вращения СГ вызывает изменение E_{Γ} и её частоты f .

Индукторные синхронные ТГ

□ Индукторные ТГ:

- используются с выпрямителем на выходе
- работают на зубцовых гармониках



$$E_{\Gamma} = 4.44 f W k_{об} \Phi = k_{кр} n$$

$$f = pn/60 \text{ - для традиционной СМ}$$

$$f = z_2 n/60 \text{ - для индукторной СМ}$$

Благодаря относительно высокой выходной частоте в выпрямленном напряжении низкочастотные пульсации малы, а высокочастотные легко сглаживаются фильтрами

Преимущества и недостатки СТГ

□ Преимущества

- Отсутствие скользящего контакта
- Большая выходная мощность
- Высокая надежность

□ Недостатки

- Изменение частоты выходного сигнала в системах системах использующих амплитуду выходного напряжения
- Изменение амплитуды в системах работающих по частотному принципу

Самостоятельная работа

- Хрущев В.В. Электрические машины систем автоматики. -Л., Энергоатомиздат, 1985
 - **глава 10 – стр. 233-282**
- Юферов Ф.М. Электрические машины автоматических устройств. -М., Высш. шк., 1988.
 - **глава 16 – стр. 418-438**

-
- ❑ Каково назначение тахогенераторов?
 - ❑ Требования предъявляемые к тахогенераторам?
 - ❑ Принцип действия тахогенератора постоянного тока?
 - ❑ Что понимают под асимметрией тахогенератора постоянного тока?
 - ❑ Принцип действия асинхронного тахогенератора?
 - ❑ Что такое остаточная ЭДС асинхронного тахогенератора?
 - ❑ Достоинства и недостатки асинхронных тахогенераторов и тахогенераторов постоянного тока?