

# Лекція №7

Безконтактні електричні машини  
постійного струму

# Різновиди вентильних електричних машин

Перші машини з напівпровідниковими пристроями на ртутних випрямлячах, тиратронах або ігнітронах з'явилися в 20-х роках минулого сторіччя. Вони використовувалися спочатку як генератори постійного струму в системах збудження турбогенераторів. Вентильний двигун був запропонований в 1933 році. Нові можливості розвитку вентильних машин постійного струму відкрилися після винаходу в 1948 році транзисторів, а ще пізніше – тиристорів.

Застосовуються наступні різновиди вентильних електричних машин (ВЕМ):

- ЕМ, виконані на базі машин постійного струму, тобто із замкнутою якірною обмоткою. Працюють в режимі генератора і двигуна.
- ЕМ, виконані на базі синхронних машин. В теперішній час переважно застосовується цей тип машин.

Вентильний генератор складається з безконтактного генератора і напівпровідникового випрямляча (НВ). Якщо застосовується генератор з постійними магнітами, то раціонально використовувати керований НВ, що забезпечує регулювання і стабілізацію вихідної напруги.

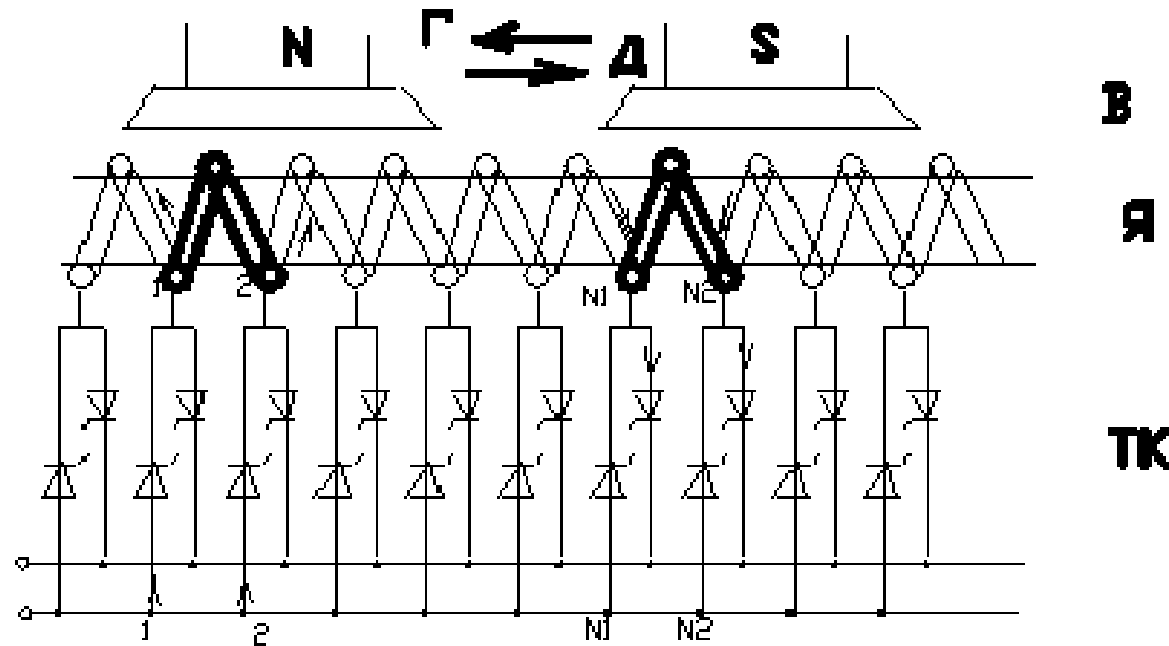
При використанні в якості безконтактного генератора синхронної машини з обмоткою збудження НВ може бути некерованим і керованим. У першому випадку ПВ простий і надійний, а напруга регулюється зміною струму в обмотці збудження, однак має невисоку швидкодію.

Вентильний двигун живиться від джерела постійного струму через напівпровідниковий інвертор. При некерованому інверторі двигун має усі властивості звичайного синхронного двигуна. Характеристики, властиві колекторним двигунам, можуть бути отримані тільки при керованому інверторі, із використанням датчиків положення ротора. Властивості двигунів залежать від наступних чинників: способу комутації керованих вентилів, схеми з'єднання вентилів і секцій обмотки, можливості зміни напрямку струму в секції.

У вентильних машинах застосовуються обмотки наступних типів:

- Замкнена обмотка з реверсивним живленням за типом якірних обмоток машин постійного струму;
- Променева обмотка з неревесивним і реверсивним живленням. Переважно вони бувають трисекційними за типом трифазних обмоток;
- Паралельні і послідовні обмотки з реверсивним і неревесивним живленням.

# Вентильні машини постійного струму із замкнутою багатосекційною обмоткою



Живлення обмотки від джерела постійного струму здійснюється через напівпровідниковий комутатор. Тиристорний комутатор складається із двох груп вентилів: анодної групи з індексом «+», у якій електрично з'єднані всі аноди, і катодної групи з індексом «-», у якій електрично з'єднані всі катоди. До кожної точки з'єднання двох сусідніх секцій приєднується пара тиристорів: один із групи «+», а другий – із групи «-».

Ротор двигуна влаштовано так само, як в синхронній машині. Сигнали з давачів на роторі керують відкриттям тиристорів.

*Процес перетворення енергії в даній машині відбувається так само, як в колекторній машині постійного струму. На неї розповсюджуються усі основні рівняння машин постійного струму.*

Від колекторної машини постійного струму ця машина відрізняється тільки способом комутації струму в секціях. Давач положення ротора регулюється так, щоб щодо відкритих тиристорів груп «+ » і «-» обмотка розбивалася на дві паралельні гілки на пару полюсів, одна з яких розташовується під краєм північного полюсу інша - південного. Закривання тиристорів не пов'язані з сигналами ДПР.

Процес зміни напрямку струму в комутованій секції протікає таким чином: При переміщенні полюсів щодо комутованого короткозамкненого контура (наприклад, контура 1221) в нім індукуються ЕРС обертання.

В режимі двигуна комутуюча ЕРС направлена проти струму, що був в секції до початку комутації, тобто проти струму в тиристорі 1, що раніше відкрився, і згідно із струмом в тиристорі 2, що відкривається. Під дією ЕРС струм у вентилі 2, збільшується до повного струму, а у вентилі 1, що закривається, спадає до нуля. При цьому до вентиля 1 прикладена зворотна напруга і утворюється пауза струму, необхідна для замикання тиристора. В цю мить сигнал в коло управління не поступає, і тиристор закривається. Потім процес повторюється.

# Вентильний генератор із напівпровідниковим випрямлячем, що має нульовий вивід

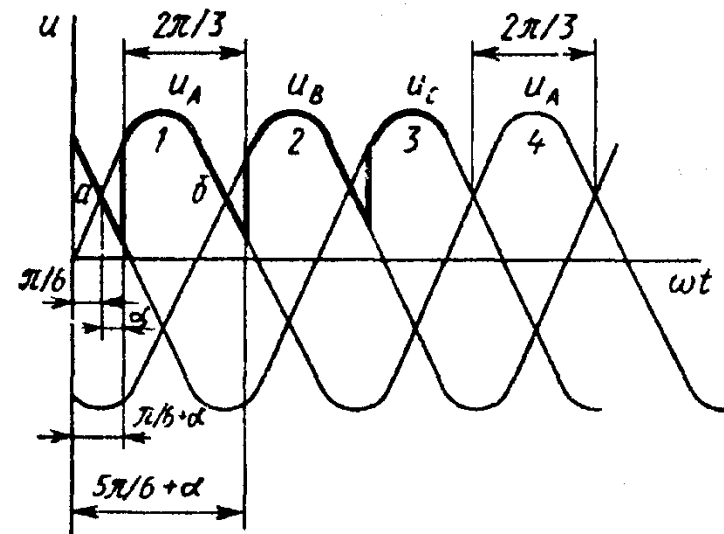
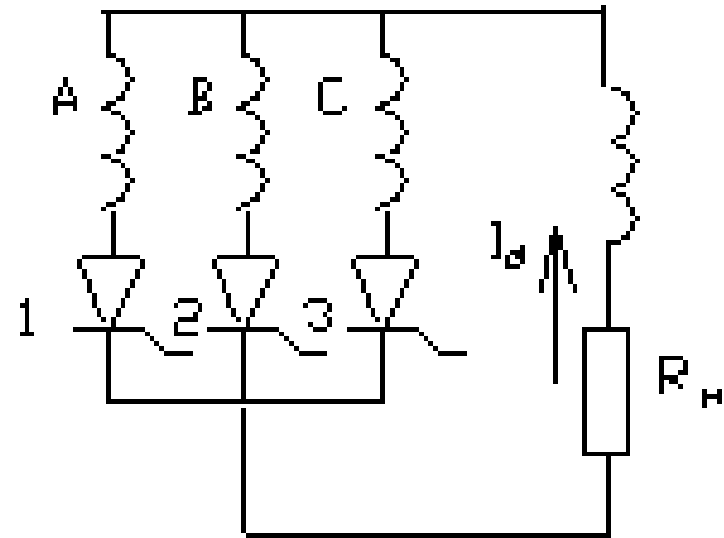
Нехай НВ, підключений до синхронного генератора, що працює на активно-індуктивне навантаження, а вентилі НВ є керованими,  $r_a \approx 0$ .

Напряга на виході явнополюсного генератора:

$$\dot{U} = \dot{E}_f - jX_d \dot{i}_d - jX_q \dot{i}_q$$

Залежності фазних напруг  $U_a(t)$ ,  $U_b(t)$ ,  $U_c(t)$ , та струмів  $i_a(t)$ ,  $i_b(t)$ ,  $i_c(t)$  показано на рис.

В точці  $a$  включається вентиль 1 і відключається вентиль 3, оскільки після включення вентиля 1 до вентиля 3 прикладена зворотна напруга і відбувається його природна комутація.



a)

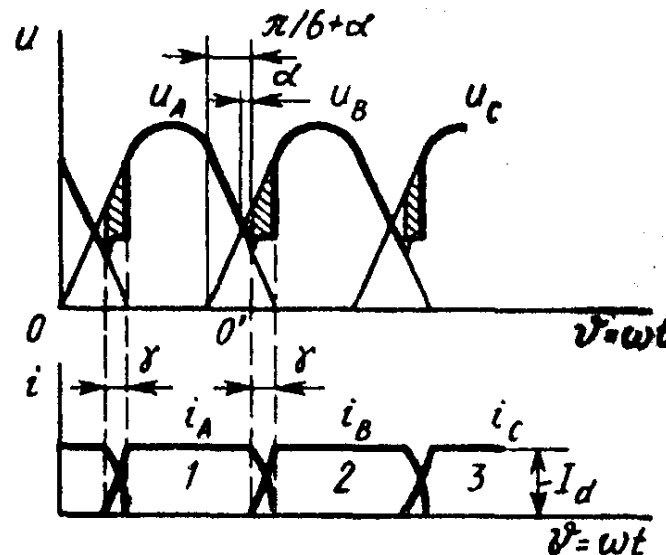
У схемі з нульовим виводом внесок у випрямлену напругу дають тільки позитивні півхвилі кривої напруги, причому кожна фаза і відповідний клапан працюють протягом 1/3 періоду.

Якщо клапани працюють у керованому режимі, то середня випрямлена напруга:

$$U_d = \frac{1}{(2\pi/3)} \int_{(\pi/6)+\alpha}^{(5/6)\pi+\alpha} \sqrt{2}U \sin \varpi \cdot t \cdot d(\varpi t) = \frac{3\sqrt{6}}{2\pi} U \cos \alpha$$

Де  $U$  — ефективне значення фазної напруги обмотки якоря.

### Урахування процесу комутації



При одночасній роботі вентилів 1 і 2 гілки з обмотками фаз А і В включені паралельно і напруга на їх кінцях однакова. Тому, якщо нехтувати активними опорами обмоток і вентилів, маємо:

$$u_A - L_K \frac{di_A}{dt} = u_B - L_K \frac{di_B}{dt}$$

$$u_A - X_K \frac{di_A}{d(\omega t)} = u_B - X_K \frac{di_B}{d(\omega t)}$$

де  $L_K$  і  $X_K = \omega \cdot L_K$  – індуктивність і індуктивний опір обмотки фази під час комутації.

Процес комутації вентилів близький по своїй фізичній природі до початкової стадії раптового двохфазного короткого замикання генератора і тому:

$$X_K \approx 0,5(X_d'' + X_2)$$

де  $X_2$  – індуктивний опір зворотної послідовності:

$$X_2 \approx 0,5(X_d'' + X_q'')$$

Отримуємо:

$$X_K \approx 0,25(3X_d'' + X_q'')$$

З наступного виразу визначається тривалість комутації  $\gamma$ :

$$\cos(\gamma + \alpha) = \cos \alpha - \frac{2X_K I_d}{\sqrt{6}U}$$



Для некерованого НВ, коли  $\gamma=0$ , маємо:

$$\cos \gamma = 1 - \frac{2X_K I_d}{\sqrt{6}U}$$

Тобто, із зростанням  $\alpha$  кут комутації  $\gamma$  зменшується.

Напруга на комутуючих вентилях  $U_\gamma$  дорівнює півсумі напруг фаз, що відключаються і включаються:

$$u_\gamma = 0,5(u_A + u_B)$$

Під час комутації напруга знижується в порівнянні з напругою фази, що включається, коли комутація не відбувається.

Комутація виникає з періодичністю, тому середнє значення падіння випрямленої напруги дорівнює:

$$\Delta U_K = \left(\frac{3}{2\pi}\right) X_K I_d$$

Ураховуючи спад напруги, середнє значення випрямленої напруги за рівнянням дорівнює:

$$U_d = \frac{3\sqrt{6}}{2\pi} U \cos \alpha - \frac{3}{2\pi} X_K I_d$$