

Семестр 6 навчальна дисципліна «Електричні машини»
галузь знань 14 – «Електрична інженерія»
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Підготував: доц. Ярошенко Леонід Вікторович

Лекція № 26

Тема: «Реакція якоря і векторні діаграми синхронного генератора»

ПЛАН

- 1. Поняття реакції якоря;*
- 2. Реакція якоря синхронного генератора при граничних випадках навантаження;*
- 3. Особливості врахування реакції якоря в явнополюсних і неявнополюсних синхронних машинах;*
- 4. Основні векторні діаграми ЕРС явнополюсного синхронного генератора;*
- 5. Перетворені векторні діаграми ЕРС явнополюсного синхронного генератора;*

1. Поняття реакції якоря

Синхронні машини широко використовуються як генератори змінного струму, тому цей режим синхронних машин вивчається детально.

При роботі синхронного генератора в режимі холостого ходу затискачі обмотки якоря розімкнуті. В цьому режимі в магнітному колі машини існує тільки поле, створене обмоткою збудження під дією магніторушійної сили (МРС) F_0 . На кожному полюсному поділу в повітряному зазорі між статором і ротором утвориться магнітний потік Φ_0 , що називається **основним магнітним потоком**. Він визначає значення ЕРС обмотки якоря (статора).

В навантажувальному режимі обмотка якоря (статора) підключена до навантаження. При цьому в обмотці якоря протікає струм I , що створює власне магнітне поле під дією МРС обмотки (статора) якоря F_a . Це поле взаємодіє з полем збудження підсилюючи або послабляючи поле збудження, або ж спотворюючи його форму. Дія МРС обмотки (статора) якоря на МРС обмотки збудження називається реакцією якоря. Реакція якоря впливає на робочі характеристики синхронної машини, оскільки зміна магнітного поля супроводжується зміною ЕРС, що наводиться в обмотці статора, а отже зміною ряду інших величин, що пов'язані із цією ЕРС.

В результаті такої взаємодії в генераторі, що працює під навантаженням, утвориться результуюче магнітне поле під дією результуючої МРС:

$$\dot{F}_p = \dot{F}_0 + \dot{F}_a. \quad (14.1)$$

Характер реакції якоря в синхронному генераторі залежить від таких факторів:

1. Величини навантаження генератора, тобто значення струму I .
2. Роду навантаження, тобто чи є навантаження чисто активним, чисто індуктивним, чисто ємнісним або змішаним.
3. Конструкції синхронного генератора – явнополюсна чи неявнополюсна.

При визначенні реакції якоря виходять з таких положень:

1. Вважають, що МРС реакції якоря $F_a = f(x)$ розподілена на кожному полюсному поділу за синусоїдальним законом (вищими гармонійними МРС реакції якоря нехтують, оскільки вони істотно послабляються укороченням кроку обмотки якоря, скосом пазів в осьовому напрямку і наявністю значного зазору між статором і ротором).

2. Вісь полюсів поля реакції якоря завжди розташовується по осі тієї фази, струм у якій в даний момент часу має максимальне значення. Це дозволяє правильно орієнтувати осі полів реакції якоря і збудження, якщо умовно вважати їх існуючими самостійно.

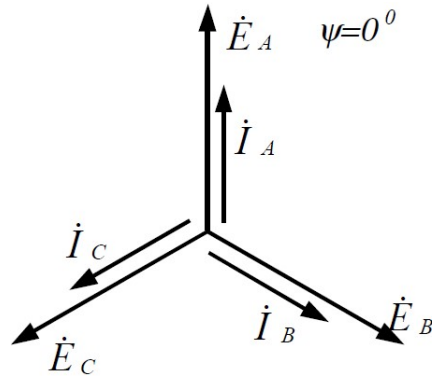
3. Провідники обмотки якоря, у яких в даний момент часу індукується максимальне значення ЕРС, розташовані по осі полюсів ротора.

2 Реакція якоря синхронного генератора при граничних випадках навантаження

Як правило навантаження синхронного генератора змішане, тобто активно-індуктивне або активно-ємнісне. Але щоб зрозуміти характер реакції якоря в цих випадках, необхідно спочатку установити її характер в граничних випадках навантаження:

- 1) при чисто активному навантаженні;
- 2) при чисто індуктивному навантаженні;
- 3) при чисто ємнісному навантаженні.

Активне навантаження ($\psi = 0$). Нехай навантаження синхронного генератора активне, з невеликою ємнісною складовою, для компенсації внутрішньої індуктивності генератора. У цьому випадку струм якоря синхронного генератора I збігається по фазі з ЕРС \dot{E}_0 (мал. 2.1), що індукується в обмотці якоря полем збудження синхронного генератора.



Векторна діаграма синхронного генератора при чисто активному навантаженні

Установимо характер реакції якоря для цього випадку навантаження генератора. Представимо магнітне коло двополюсної синхронної машини в розгорнутому вигляді (мал. 2.2).

Як відзначалося раніше, провідники обмотки якоря, у яких в даний момент часу індукується максимальне значення ЕРС розташовані по осі полюсів ротора. Напрямок ЕРС в цих провідниках визначається за правилом правої руки, з огляду на напрямок руху полюсів ротора (показано стрілкою).

Оскільки в даному випадку навантаження струм обмотки якоря збігається по фазі з ЕРС, то провідники з максимальним значенням ЕРС будуть одночасно і провідниками з максимальним значенням струму. Представимо магнітні силові лінії навколо провідників обмотки якоря з максимальним значенням струму (магнітні силові лінії поля реакції якоря).

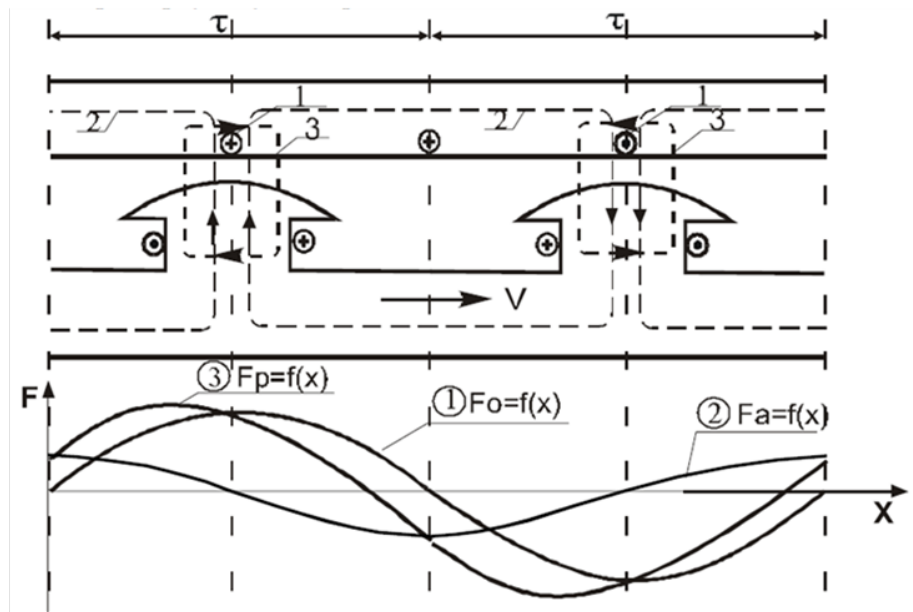
З картини силових ліній поля реакції якоря видно:

1. В роторі магнітні силові лінії реакції якоря йдуть поперек осі полюсів, тому таку реакцію якоря називають **поперечною**.

2. Вісь полюсів поля реакції якоря приходить на середині міжполюсного простору полюсів ротора.

З огляду на ці обставини, орієнтуємо відповідно криві розподілу перших гармонік МРС збудження і реакції якоря.

Амплітуда першої гармоніки МРС обмотки збудження приходить на середину полюсів ротора, причому знак амплітуди приймаємо з урахуванням напрямку магнітних силових ліній поля збудження.



1 – провідники з максимальним значенням ЕРС і струму; 2 – магнітні силові лінії поля збудження; 3 – магнітні силові лінії поля реакції якоря

Реакція якоря синхронного генератора при чисто активному навантаженні

Відповідно амплітуду першої гармоніки кривої розподілу МРС реакції якоря орієнтуємо по осі між полюсного простору полюсів ротора, також з урахуванням напрямку магнітних силових ліній поля реакції якоря.

Підсумовуючи ординати кривих $F_0 = f(x)$ і $F_a = f(x)$ знаходимо криву розподілу першої гармоніки результируючої МРС $F_p = f(x)$,

$$\vec{F}_p = \vec{F}_0 + \vec{F}_a .$$

Зіставляючи криві (1) і (3) можна зробити такий висновок: оскільки ці криві відрізняються за амплітудою і фазою, то при переході генератора від режиму холостого ходу, коли в магнітному колі діє тільки МРС F_0 , до навантажувального режиму, коли в магнітному колі діє МРС F_p , вихідна напруга синхронного генератора також буде

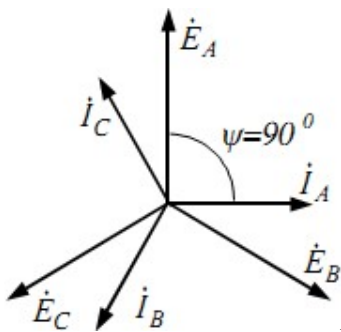
змінюватися за амплітудою і фазою. Це відбудеться в результаті зміни структури поля і значення магнітного потоку на кожному полюсному поділу через дію поперечної реакції якоря. Оскільки в даному випадку вся реакція якоря поперечна, можна записати:

$$F_a = F_{aq}, \quad (15.2)$$

де F_{aq} - МРС поперечної реакції якоря.

Таким чином, вплив МРС реакції якоря F_a на МРС збудження F_0 при чисто активному навантаженні викликає спотворення результуючого поля машини: магнітне поле машини послабляється під краєм полюса, що набігає, і посилюється під краєм полюса, що збігає. Внаслідок насичення магнітного кола результуюче магнітне поле машини трохи послабляється. Пояснюється це тим, що розмагнічування полюсних наконечників під набігаючим краєм, і ділянок зубцевого шару статора, що знаходяться над ним, відбувається безперешкодне, а підмагнічування країв полюсних наконечників, що збігають, і ділянок зубцевого шару статора, що знаходяться над ними, обмежується магнітним насиченням цих елементів магнітного кола. У підсумку результуючий магнітний потік машини послабляється, тобто магнітна система трохи розмагнічується. Це веде до зменшення ЕРС машини E .

Індуктивне навантаження ($\psi = + 90^\circ$). При чисто індуктивному навантаженні генератора струм якоря I відстає по фазі від ЕРС \dot{E}_0 на кут $\psi = 90^\circ$ (мал. 15.3).



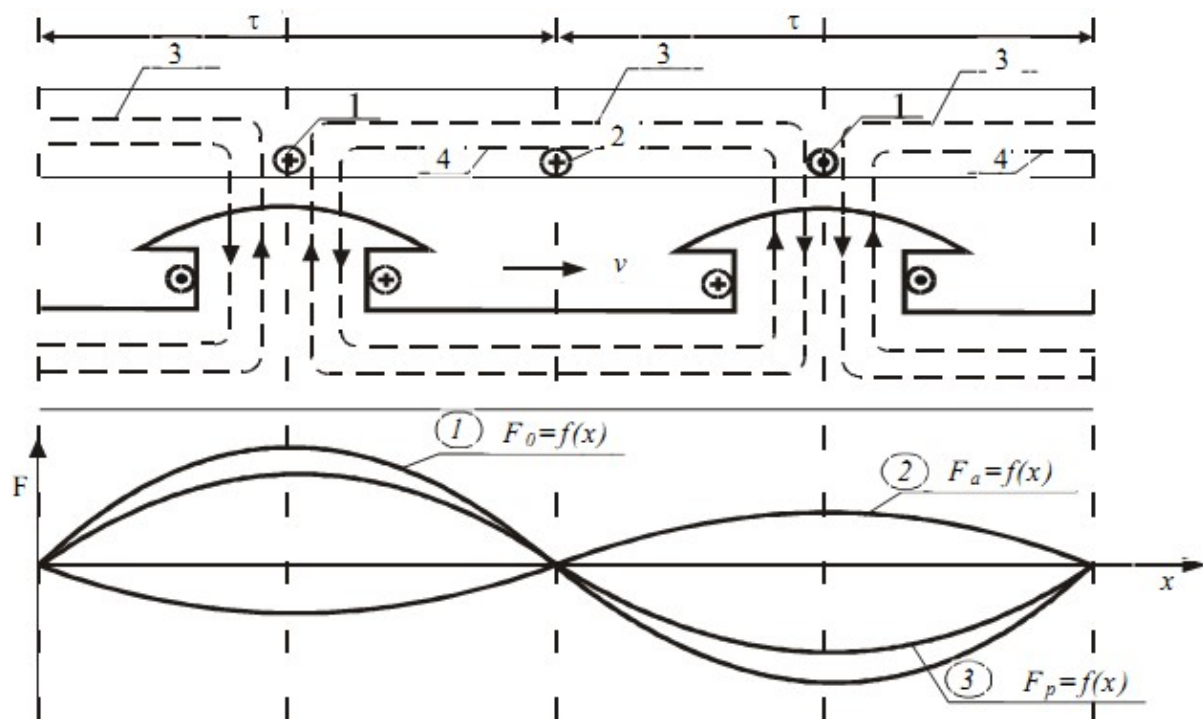
Мал. 15.3 Векторна діаграма синхронного генератора при чисто індуктивному навантаженні

Цей випадок навантаження генератора принципово відрізняється від попереднього випадку тим, що провідники обмотки якоря з максимальним значенням струму будуть зміщені щодо провідників обмотки якоря з максимальним значенням

ЕРС на кут 90° убік відставання, тобто в цих провідниках струм досягне максимального значення лише після повороту ротора уперед на 90° щодо його положення, що відповідає максимуму ЕРС \dot{E}_0 .

Магнітні силові лінії поля збудження і реакції якоря йдуть головним чином по шляху з найменшим магнітним опором, тобто по сталі.

З урахуванням цього представляємо магнітне коло дво полюсного генератора і картину розподілу магнітних силових ліній полів збудження і реакції якоря для даного випадку навантаження (рис. 15.4).



1 - провідники з максимальним значенням ЕРС; 2 - провідники з максимальним значенням струму; 3 - магнітні силові лінії поля збудження 4 - магнітні силові лінії поля реакції якоря

Мал. 15.4 Реакція якоря синхронного генератора при чисто індуктивному навантаженні:

З картини силових ліній поля реакції якоря видно:

1. У роторі силові лінії поля реакції якоря в даному випадку розташовуються уздовж осі полюсів, отже, реакція якоря називається **повздовжньою**. Оскільки напрямок магнітних силових ліній поля реакції якоря протилежний напрямку магнітних силових ліній поля збудження, реакція якоря, називається **повздовжньо-розмагнічуючою**.

2. Вісь полюсів реакції якоря розташовується по осі полюсів ротора, тобто осі полюсів поля збудження і реакції якоря збігаються.

З огляду на (1) і (2) представляємо криві розподілу МРС обмотки збудження $F_0 = f(x)$ і реакції якоря $F_a = f(x)$.

Підсумовуючи ординати кривих (1) і (2) знаходимо криву розподілу результуючої МРС $F_p = f(x)$.

Зіставляючи криві $F_0 = f(x)$ і $F_a = f(x)$ відзначаємо, що вони протилежні по фазі і відрізняються по амплітуді.

Це означає, що при переході від холостого ходу до чисто індуктивного навантаження відбувається ослаблення магнітного поля генератора під дією поздовжньо-розмагнічуючої реакції якоря. Відбувається зменшення магнітного потоку на кожному полюсному поділу і, відповідно, знижується вихідна напруга генератора.

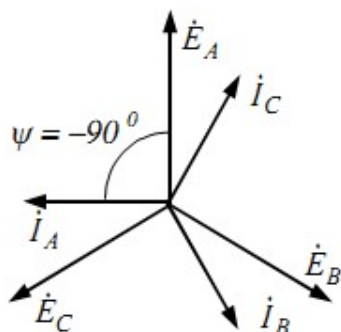
Оскільки в даному випадку навантаження вся реакція якоря є поздовжньо-розмагнічуючою, її МРС записується у такий спосіб:

$$F_a = -F_{ad}, \quad (15.3)$$

де F_{ad} - МРС поздовжньої реакції якоря.

На відміну від реакції якоря при активному навантаженні в розглянутому випадку магнітне поле не спотворюється.

Ємнісне навантаження ($\psi = -90^\circ$). При чисто ємнісному навантаженні генератора струм якоря I випереджає по фазі ЕРС E_0 на кут $\psi = -90^\circ$. На векторній діаграмі цей випадок представлений на рис. 15.5.

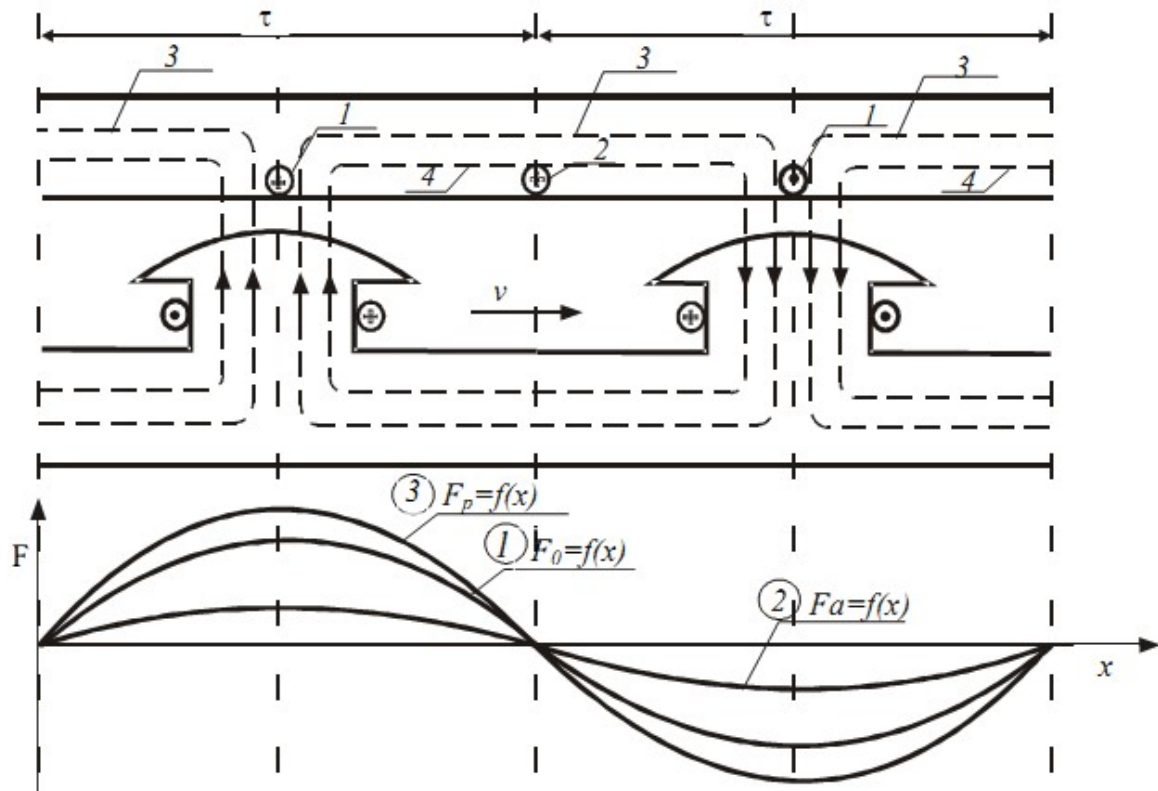


Мал. 15.5 Векторна діаграма синхронного генератора при

чисто ємнісному навантаженні

Цей випадок відрізняється від попереднього тем, що провідники з максимальним значенням струму зміщені щодо провідників з максимальним значенням ЕРС на кут 90° убік випередження, тобто струм досягне свого максимуму раніше, ніж ЕРС.

З врахуванням цього представляємо магнітне коло дво полюсного синхронного генератора і розподіл магнітних силових ліній полів збудження і реакції якоря для даного випадку навантаження (мал. 15.6).



1 - провідники з максимальним значенням ЕРС; 2 - провідники з максимальним значенням струму; 3 - магнітні силові лінії поля збудження; 4 - магнітні силові лінії поля реакції якоря

Мал. 15.6 Реакція якоря синхронного генератора при чисто ємнісному навантаженні:

З картини магнітних силових ліній дійдемо висновку:

1. У роторі силові лінії реакції якоря розташовані уздовж осі полюсів, отже, реакція якоря називається поздовжньою. Оскільки ці силові лінії збігаються по напрямку із силовими лініями поля збудження, реакція якоря називається **поздовжньо-підмагнічуючою**.

2. Вісь полюсів поля реакції якоря розташовується по осі полюсів ротора, тобто осі полюсів поля збудження і реакції якоря збігаються.

З огляду на (1) і (2) представимо криві розподілу МРС збудження $F_0 = f(x)$ і МРС реакції якоря $F_a = f(x)$ таким чином, що їхні амплітуди розташовуються по осі полюсів, а знак амплітуди залежить від напрямку силових ліній.

Підсумовуючи амплітуди кривих (1) і (2) знаходимо розподіл результуючої МРС $F_p = f(x)$.

Зіставляючи криві (1) і (2) знаходимо, що ці криві збігаються по фазі і відрізняються по амплітуді. Це означає, що при переході від режиму холостого ходу генератора, коли в його магнітному колі діє МРС F_0 , до режиму чисто ємнісного навантаження, коли в магнітному колі діє МРС F_p , магнітне поле в генераторі не спотворюється а підсилюється поздовжньо-намагнічуючою і дію реакції якоря. При цьому збільшується магнітний потік на кожному полюсному поділу і, відповідно, збільшується вихідна напруга.

Оскільки в даному випадку навантаження вся реакція якоря є поздовжньо-підмагнічуючою, її МРС позначається $F_a = +F_{ad}$, де знак «плюс» означає, що реакція якоря *підмагнічуюча*.

Висновки: З розглянутих трьох граничних випадків навантаження синхронного генератора впливає, що при чисто активному навантаженні в синхронних генераторах має місце поперечна реакція якоря. При чисто індуктивному і ємнісному навантаженнях - поздовжня реакція якоря.

Якщо навантаження синхронного генератора змішане, тобто $(r - L)$ або $(r - C)$, що звичайно має місце, то в цих випадках основну хвилю МРС реакції якоря можна розкласти на дві складові: з амплітудами $F_a \cos \psi$ і $F_a \sin \psi$.

Складова $F_a \cos \psi = F_{aq}$ - МРС поперечної реакції якоря, їй відповідає складова струму $I_q = I \cos \psi$. Складова струму I_q є активною стосовно ЕРС E_0 .

Складова $F_a \sin \psi = F_{ad}$ - МРС поздовжньої реакції якоря, їй відповідає складова струму якоря $I_d = I \sin \psi$. Складова струму I_d є реактивною по відношенню до E_0 .

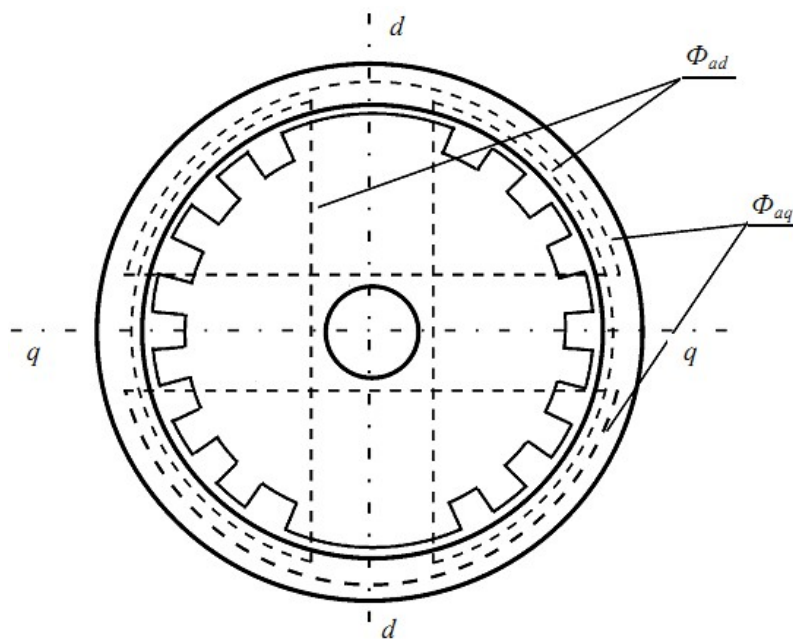
Розклад реакції якоря на дві складові, доцільний, як буде показано нижче, тільки для явнополюсних синхронних машин.

3 Особливості врахування реакції якоря в явнополюсних і неявнополюсних синхронних машинах

Вище відзначалося, що характер реакції якоря залежить від конструкції синхронних машин. Установимо, яким чином розподіляється індукція поля реакції якоря на кожному полюсному поділу неявнополюсної і явнополюсної синхронних машині, якщо розглядати поле реакції якоря по поздовжній і поперечній осях машини.

В усіх випадках вважаємо, що МРС реакції якоря розподілена в просторі на кожному полюсному поділу за синусоїдальним законом.

Неявнополюсна синхронна машина. Представимо схематично магнітне коло цієї синхронної машини (рис. 15.7). Розглянемо розподіл індукції реакції якоря на довжині полюсного поділу для поздовжньої і поперечної осей машини.



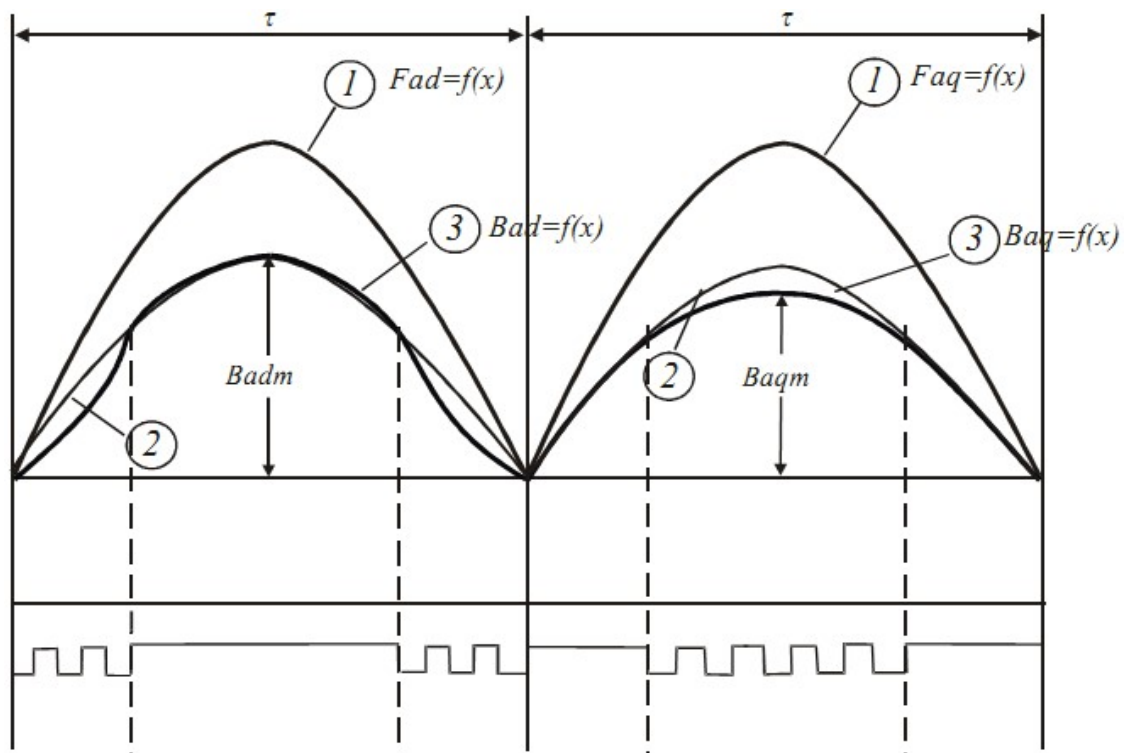
Мал. 15.7 Магнітне коло неявнополюсної синхронної машини

Як впливає з малюнка в неявнополюсній синхронній машині повітряний зазор між статором і ротором у значній мірі рівномірний. Тому магнітний опір на шляху проходження магнітного потоку поздовжньої складовий реакції якоря і поперечної складової реакції якоря практично однаковий.

Приймаючи, що криві розподілу МРС поздовжньої і поперечної реакції якоря $F_{ad} = f(x)$ і $F_{aq} = f(x)$ синусоїдальні (крива 1 мал. 15.8), представимо криві розподілу індукції $B_{ad} = f(x)$ і $B_{aq} = f(x)$ на полюсному поділу для поздовжньої і поперечної осей машини.

Якби повітряний зазор між статором і ротором був строго рівномірним, індукція поля реакції якоря по поздовжній чи поперечній осях машини, як і МРС (крива 1, мал. 15.8), були синусоїдальними (крива 2, мал. 15.8). Але в зоні розташування зубців і пазів на роторі магнітний опір для поля реакції якоря трохи збільшується, відповідно індукція в цій зоні зменшується (крива 3, мал. 15.8).

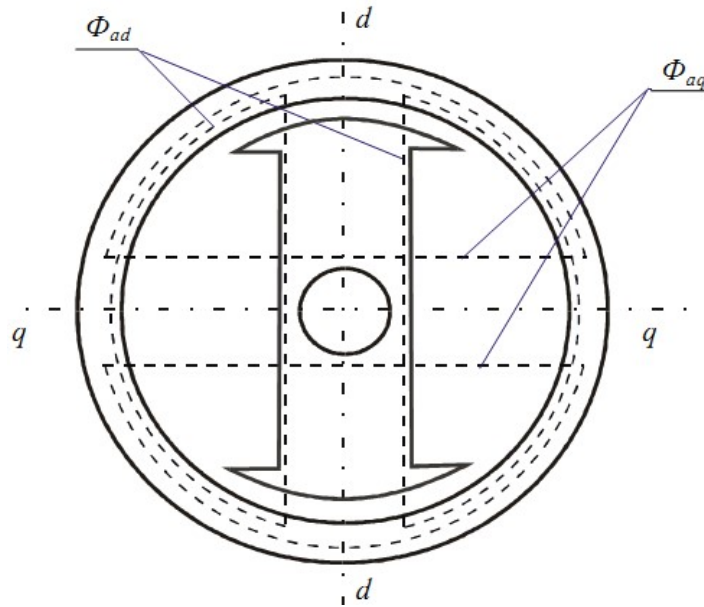
Криві $B_{ad} = f(x)$ і $B_{aq} = f(x)$ близькі за формою до синусоїди. Тому в неявнополюсній синхронній машині немає необхідності розглядати реакцію якоря по двох складовим (поздовжньої і поперечній) тобто основну хвилю МРС реакції якоря $F_a = f(x)$ не розкладають на дві складові.



Мал. 15.8 Розподіл магнітної індукції поля реакції якоря в повітряному зазорі неявнополюсної синхронної машини по поздовжній $d-d$ і поперечній $q-q$ осях

Явнополюсна синхронна машина. Представимо схематично магнітне коло синхронної машини (мал. 15.9).

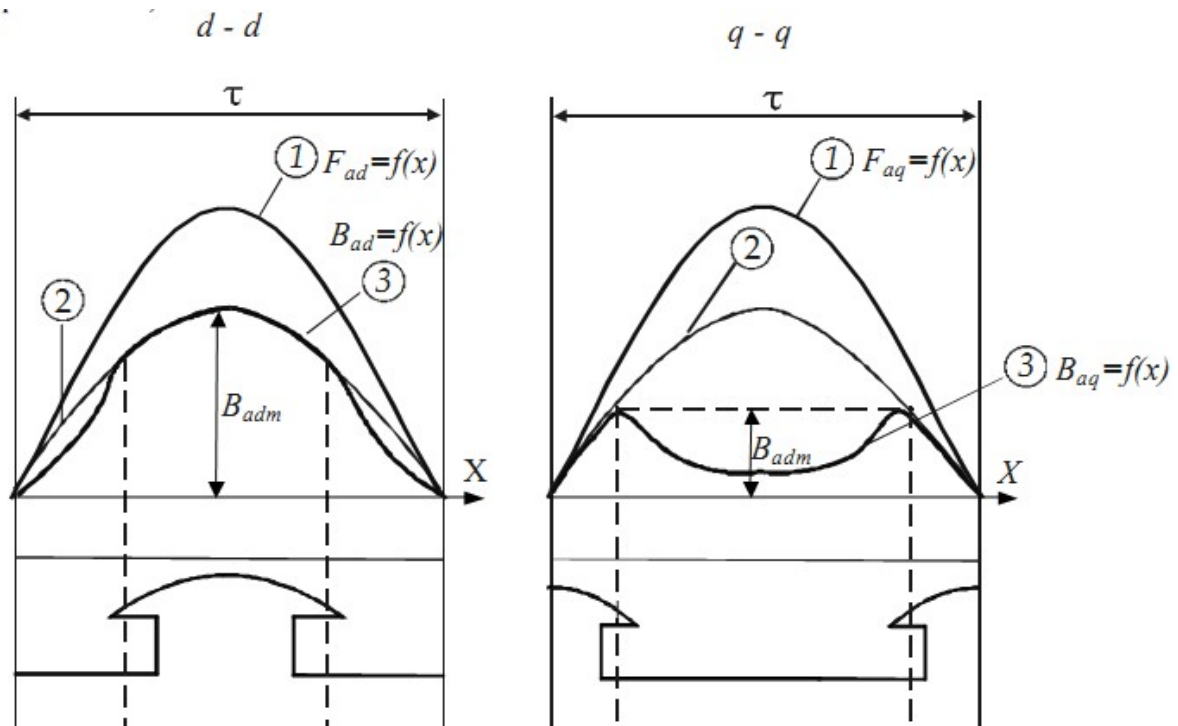
Як випливає з малюнка в явнополусній синхронній машині повітряний зазор між статором і ротором у значній мірі нерівномірний. Отже магнітний опір на шляху проходження поздовжньої реакції якоря Φ_{ad} значно менший, ніж для потоку поперечної реакції якоря Φ_{aq} .



Мал. 15.9 Магнітне коло явнополусної синхронної машини

Приймаючи, що криві розподілу МРС $F_{ad} = f(x)$ і $F_{aq} = f(x)$ синусоїдальні на кожному полюсному поділу (криві 1, мал. 15.10), встановимо, яким чином розподіляється індукція магнітних полів поздовжньої і поперечної реакції якоря $B_{ad} = f(x)$ і $B_{aq} = f(x)$.

Якби повітряний зазор між статором і ротором був рівномірний, то індукція поля реакції якоря розподілялася б по тому ж закону що і МРС (криві 2, мал. 15.10).



Мал. 15.10 Розподіл магнітної індукції поля реакції якоря в повітряному зазорі явнопольсної синхронної машини по поздовжньої $d-d$ і поперечної $q-q$ осях

Але в області збільшеного повітряного зазору магнітний опір проходженню поля реакції якоря різко збільшується, відповідно значення індукції різко зменшується.

Форми кривих $B_{ad} = f(x)$ і $B_{aq} = f(x)$ (криві 3, мал. 15.10) у значній мірі різні. Тому в явнопольсній синхронній машині врахування реакції якоря ведеться по складовим - поздовжній і поперечній.

4 Основні векторні діаграми ЕРС явнопольсного синхронного генератора

Вивчаючи фактори, від яких залежить напруга генератора, що працює під навантаженням, доцільно вважати, що в синхронному генераторі самостійно існують такі магнітні потоки:

Φ_0 - основний магнітний потік, що індукуює в обмотці якоря ЕРС E_0 ;

Φ_{ad} - потік поздовжньої реакції якоря, що індукуює в обмотці якоря ЕРС E_{ad} ;

Φ_{aq} - потік поперечної реакції якоря, який індукуює в обмотці якоря ЕРС E_{aq} .

У дійсності в генераторі, що працює під навантаженням, існує єдине результуюче магнітне поле з магнітним потоком на полюсному поділі в повітряному зазорі між

статором і ротором Φ_p . Цей магнітний потік визначається через зазначені вище складові потоки у такий спосіб:

$$\dot{\Phi}_p = \dot{\Phi}_0 + \dot{\Phi}_{ad} + \dot{\Phi}_{aq}. \quad (154)$$

За другим законом Кірхгофа для кола обмотки якоря, з урахуванням зазначених вище ЕРС, рівняння рівноваги напруг записується в такому вигляді:

$$\dot{U} = \dot{E}_0 + \dot{E}_{ad} + \dot{E}_{aq} - I(r_a + jx_{\sigma a}), \quad (15.5)$$

де $I(r_a + jx_{\sigma a})$ - спад напруги на активному та індуктивному опорах обмотки якоря генератора; U - вихідна напруга генератора, що працює під навантаженням.

Це рівняння враховує усі фактори, від яких залежить вихідна напруга U генератора, що працює під навантаженням.

Використовуючи це рівняння, розглянемо векторну діаграму ЕРС синхронного генератора для випадків $(r - L)$ і $(r - C)$ навантажень (мал. 15.11).

При побудові векторних діаграм явнопольсного синхронного генератора для випадків активно-індуктивного й активно-ємнісного навантажень спочатку відкладається вектор Φ_0 . Вектор ЕРС E_0 , що індукується в обмотці якоря цим потоком відстає по фазі на 90° . При $r - L$ навантаженні струм обмотки якоря I відстає від E_0 по фазі на кут ψ , а при $r - C$ навантаженні випереджає на кут ψ .

Розкладаємо вектор струму I на поперечну I_q і поздовжню I_d складові. Складовій I_q відповідає потік поперечної реакції якоря Φ_{aq} , що збігається з нею по фазі, аналогічно $I_d \rightarrow \Phi_{ad}$, що збігаються по фазі.

Потоки Φ_{aq} і Φ_{ad} індують в обмотці якоря ЕРС E_{aq} і E_{ad} , що відстають від них на кут 90° .

За складовими знаходимо вектор результуючого магнітного потоку (15.4). Відповідно до рівняння напруг 15.5 для кола обмотки якоря знаходимо вектор вихідної напруги генератора.

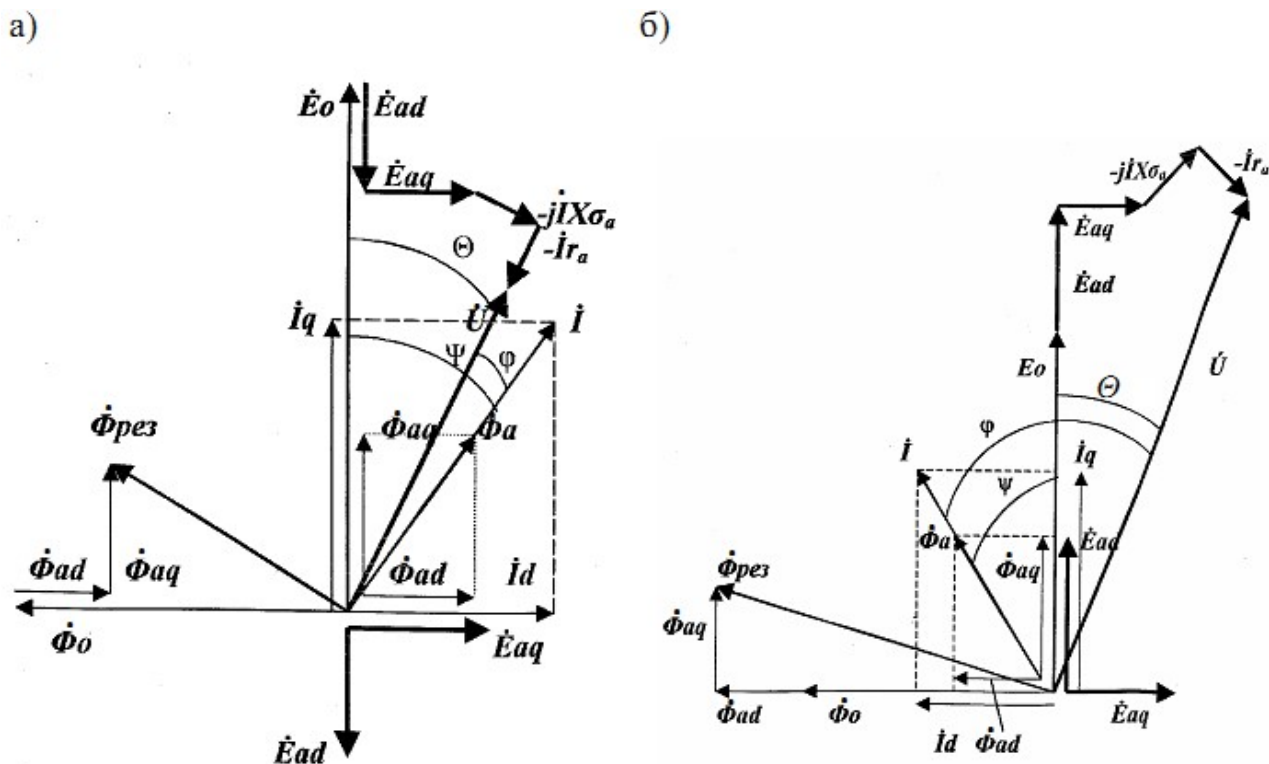


Рис. 15.11 Основні векторні діаграми ЕРС синхронного генератора при $r - L$ (а) і $r - C$ (б) навантаженнях

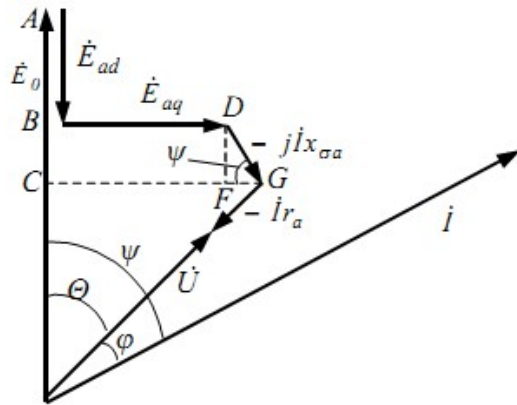
Отримані векторні діаграми називають основними векторними діаграмами ЕРС явнополюсного синхронного генератора, оскільки вони враховують усі фактори, від яких залежать фазові співвідношення між ЕРС, струмом і напругою.

При побудові аналогічних векторних діаграм для неявнополюсної синхронної машини реакція якоря не розглядається по двом складовим, тобто вважають, що потоку реакції якоря Φ_a на полюсному поділу відповідає ЕРС обмотки якоря E_a , вектор який відкладають перпендикулярно струму I .

5 Перетворені векторні діаграми ЕРС явнополюсного синхронного генератора

При розрахунках навантажувальних режимів синхронного генератора векторні діаграми ЕРС спрощують, тобто використовують перетворені векторні діаграми. Принцип перетворення векторних діаграм ЕРС розглянемо на прикладі векторної діаграми для активно-індуктивного навантаження, яку представляємо в трохи скороченому вигляді.

В процесі перетворення цієї векторної діаграми враховуємо, що E_{aq} і E_{ad} індукуються в обмотці якоря потоками Φ_{aq} і Φ_{ad} , отже, ці ЕРС запишуться у такий спосіб:



Мал. 15.12. Принцип перетворення векторної діаграми ЕРС

$$\left. \begin{aligned} \dot{E}_{ad} &= -j\dot{I}_d x_{ad} \\ \dot{E}_{aq} &= -j\dot{I}_q x_{aq} \end{aligned} \right\},$$

де x_{aq} і x_{ad} - реактивні опори обмотки якоря, що відповідають потокам повздовжньої Φ_{aq} і поперечної Φ_{ad} реакції якоря.

Виконаємо на векторній діаграмі додаткові побудови і виразимо отримані відрізки у такий спосіб:

$$AC = AB + BC = AB + DF = E_{ad} + I_d \sin \psi x_{\sigma a} = I_d x_{ad} + I_d x_{\sigma a} = I_d x_d = E_d, \quad (15.7)$$

де $x_d = x_{ad} + x_{\sigma a}$ - поздовжній синхронний реактивний опір обмотки якоря.

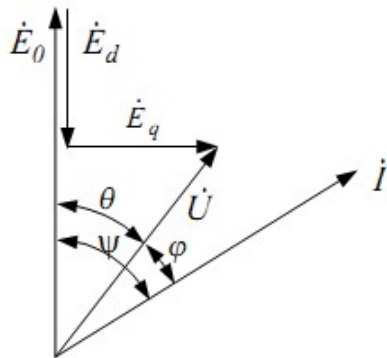
$$CG = CF + FG = BD + FG = E_{aq} + I_q \cos \psi x_{\sigma a} = I_q x_{aq} + I_q x_{\sigma a} = I_q x_q = E_q, \quad (15.8)$$

де $x_q = x_{aq} + x_{\sigma a}$ - поперечний синхронний реактивний опір обмотки якоря.

З огляду на зроблені перетворення відрізків векторної діаграми, а також нехтуючи спадом напруги $I r_a$ (оскільки вона мала) векторні діаграми ЕРС представимо (рис. 15.13).

Отримані векторні діаграми називаються перетвореними векторними діаграмами синхронного генератора.

а)



б)

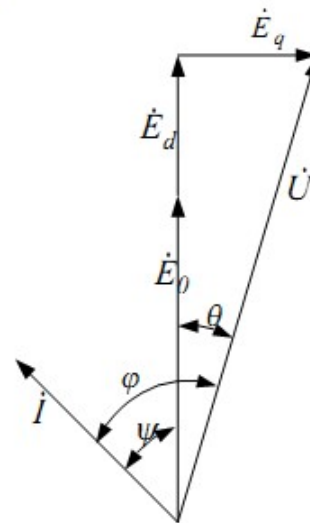


Рис. 15.13 Перетворені векторні діаграми ЕРС синхронного генератора при $r - L$ (а) і $r - C$ (б) навантаженнях

Контрольні запитання:

1. У чому виявляється явище реакції якоря?
2. Яка дія реакції якоря при активному, індуктивному і ємнісному навантаженнях синхронного генератора?
3. З яких ділянок складається магнітне коло явнополюсної і неявнополюсної синхронної машини?
4. Поясніть особливості врахування реакції якоря в явнополюсних і неявнополюсних синхронних машинах.
5. Які ЕРС наводять в обмотці статора явнополюсного синхронного генератора магнітні потоки реакції якоря, і яким індуктивним опором ці ЕРС еквівалентні?

Література:

1. Грабко В.В., Розводюк М.П., Левицький С.М., Казак М.О. Г75 Експериментальні дослідження електричних машин. Частина IV. Синхронні машини. Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2007. – 197 с.
2. Електричні машини. Навчальний посібник / Г.Г. Півняк, Ф.П. Шкрабець, В.П. Довгань. – Дніпропетровськ: Видавництво Національного гірничого університету, 2003, - 328 с.