

Винахід відноситься до області електротехніки, зокрема до електричних машин змінного струму.

Відомий трифазний асинхронний двигун з короткозамкненим ротором конструктивно простий, надійний, дешевий і тому широко застосовується на практиці (Вольдек А.И. Электрические машины. - Л.: Энергия, 1974. - 840с.).

Найбільш близьким технічним рішенням винаходу який пропонується являється "Асинхронний двигун" (патент UA №30906А, МПК<sup>7</sup> H02K17/34, опубл. 15.12.2000. Бюл. №7-11). В цьому двигуні трифазна обмотка статора в кожній фазі виконана із двох паралельних віток з різним числом витків, а у вітку з більшим числом витків включають конденсатор поздовжньої ємнісної компенсації. Компенсація частини реактивного опору ємнісним опором конденсатора змінює величину і фазу струму цієї вітки в порівнянні з струмом другої паралельної вітки. За рахунок взаємодуктивного зв'язку цієї вітки з ротором в обмотці ротора створюється додаткова ЕРС, яка збільшує основну ЕРС ротора і зміщує її фазу. Збільшується струм ротора, пусковий момент і в цілому момент в процесі розгону двигуна, а в усталеному режимі при постійному моменті навантаження зменшується ковзання, зникають струми статора і ротора в порівнянні з базовим серійним двигуном з двома однаковими паралельними вітками в обмотці статора без електричної ємності. Метод ефективний по впливу на пускові (механічні) характеристики двигуна і по зниженню втрат електроенергії в обмотках в усталеному режимі навантаження.

Недолік відомого двигуна полягає в тому, що різниця в числах витків паралельних віток обмотки ускладнює технологію їх виготовлення, а однакове (співвісне) розміщення паралельних віток обмоток в пазах визначає малу величину напруги на конденсаторах, яка виникає за рахунок поздовжньої ємнісної компенсації в одній із віток та різниці ЕРС віток. Для створення значного ефекту підмагнічуючої дії ємнісного струму при малих напругах на конденсаторах потрібно досить великі величини ємності.

Винаходом ставиться задача спростити конструкцію асинхронного двигуна, зменшити величину ємності конденсаторів, необхідних для підвищення пускового моменту двигуна при зниженні його пускового струму, робочого струму і втрат потужності в обмотках.

Поставлене винаходом завдання досягається тим, що у трифазному асинхронному двигуні, що містить короткозамкнений ротор, а обмотка статора в кожній фазі виконана із двох віток, згідно винаходу фази обмотки статора виконані з двох однакових віток, просторово зміщених одна відносно іншої на 30°, причому одна з систем віток, як основна обмотка статора, ввімкнена по схемі "зірка" в мережу трифазної напруги живлення, а інша (додаткова) по відношенню до першої, ввімкнена як вторинна по схемі понижуючого поворотного автотрансформатора з вихідним навантаженням автотрансформатора у вигляді електричної ємності конденсаторів із з'єднанням їх по схемі "трикутник".

Асинхронний двигун з короткозамкненим ротором має ряд суттєвих недоліків, серед яких великий пусковий струм  $I_{\text{пуск}}=(4\div7)I_{\text{ном}}$  при малому пусковому моменті  $M_{\text{пуск}}=(1,0\div2,0)M_{\text{ном}}$ , що обмежує його застосування для приводу виконавчих механізмів з великими інерційними масами, приводить до значного зниження напруги в малопотужних мережах при пуску великих (потужних) двигунів. Споживання двигуном реактивної потужності для створення змінного магнітного поля знижує його коефіцієнт потужності до  $0,2\div0,3$  при холостому ході і  $0,7\div0,9$  при номінальному навантаженні, що визначає великий реактивний струм двигуна, збільшує втрати електроенергії як в самому двигуні, так і в мережі живлення. Зниження споживання асинхронним двигуном реактивного намагнічуючого струму може служити основою для економії електроенергії за рахунок зменшення втрат її в двигуні та у мережі, а також для підвищення пускового моменту двигуна при зниженні його пускового струму.

На фіг.1 представлена принципова електрична схема фази статора і ротора приведенного асинхронного двигуна з ємнісною компенсацією реактивної потужності у вторинному колі поворотного автотрансформатора.

На фіг.2-3 показані принципові електричні схеми кіл статора трифазного компенсаційного АД з поворотом осей віток обмотки відносно одна одної на  $\delta = 150^\circ$  ( $Q = -30^\circ$ ) з включенням їх по автотрансформаторній схемі на електричну ємність С конденсаторів.

В схемі фіг.2 конденсатори включені на виході АТ зіркою в нейтральну точку.

На фіг.3 представлена схема, якій надається перевага, з включенням конденсаторів трикутником.

Схема фіг.3 прийнята за робочу, вона еквівалентна фіг.2, але забезпечить на конденсаторі напругу, рівну половині лінійної напруги мережі живлення і вимагає в 3 рази меншу величину ємності конденсаторів у порівнянні з схемою фіг.2.

Принцип роботи і властивості запропонованого КАД ілюструється векторною діаграмою (фіг.4) і механічними характеристиками (фіг.5) при аналізі процесів в двигуні, статорне коло якого представлено схемами фіг.1 і 2.

Такий асинхронний двигун називається компенсованим (КАД). Поворот додаткової обмотки відносно осі основної обмотки на кут  $\delta = 150^\circ$  по направленню обертання поля еквівалентно куту  $Q = -30^\circ$  між осями двох обмоток з однаковими маркуванням кінців у вузлі і направленням намотки обмоток. Така схема поворотного АТ в статорному колі забезпечує напругу на конденсаторі у виді суми ЕРС  $E_1$  основної обмотки і добавочної  $E_\Delta$ ,

зсунутих по фазі на кут  $\delta = 150^\circ$ , практично рівну половині фазної напруги мережі, тобто  $U_K^\delta \cong E_1^\delta + E_\Delta^\delta \approx 0,5U$  (без врахування падіння напруги в обмотках).

Для порівняння в якості базового прийнятий серійний АД, в якому намагнічуючий струм  $I_0$  створює магнітний потік  $\Phi$ , який індуктує в обмотках статора і ротора приведенного двигуна з числом витків  $W$  однакові ЕРС  $E_1 = E_2$ . З

умови рівноваги МРС струм первинного кола рівний  $I_1^\delta = I_0^\delta - I_2^\delta$ , де  $I_2^\delta$  - струм фази ротора. Напруга мережі  $U^\delta$

зрівноважується основною ЕРС  $E_1$  і падінням напруги в статорному колі, тобто  $U^\delta = -E_1^\delta + I_1^\delta Z_1$ , де  $Z_1 = r_1 + jx_1$  - опір обмотки статора.

На діаграмі фіг.4 вектори електричних і магнітних величин, а на фіг.4 механічні характеристики базового АД показані суцільними лініями.

При введенні в коло статора додаткової обмотки в загальному випадку з числом витків  $\Delta W = kW$  при  $k \geq 0$ , просторово зміщеної в пазах статора на кут  $\delta = 150^\circ$ , вона перетинається тим же обертовим потоком  $\Phi$ , але

пізніше основної на час проходження потоком кута  $\delta$ . Тому ЕРС додаткової обмотки  $E_{\Delta}$  відстає від ЕРС  $E_1$  по фазі в часі на кут  $\delta$ . При включенні додаткової обмотки по відношенню до основної по схемі поворотного АТ на електричну ємність конденсатора на виході АТ виникає напруга  $U_k^{\&} \approx E_1^{\&} + E_{\Delta}^{\&}$ . Струм конденсатора і додаткової обмотки  $I_{\Delta}^{\&}$  випереджає напругу  $U_k^{\&}$  по фазі на  $90^\circ$  і рівний  $I_{\Delta}^{\&} = \frac{U_k^{\&}}{-jx} = j \frac{U_k}{x_c}$ , де  $x_c$  - ємнісний опір конденсатора. (Вектори - величин компенсованого АД показані на фіг.4 і механічні характеристики фіг.5 пунктирними лініями).

Від струму  $I_{\Delta}^{\&}$  додаткової обмотки, з врахуванням просторового зміщення її, в основній обмотці статора і в обмотці ротора створюється додаткова ЕРС взаємної індукції  $E_{\Delta m}^{\&} = -j k x_m I_{\Delta}^{\&} e^{j\delta}$ , де  $e^{j\delta}$  - поворотний множник, який визначає приведення струму  $I_{\Delta}^{\&}$  додаткової обмотки до осі основної обмотки статора, як  $I_{\Delta}^{\&} = I_{\Delta}^{\&} e^{j\delta}$ ,  $x_m$  - опір взаємоіндукції між основними обмотками статора і ротора при рівній кількості витків  $W$  в них,  $k x_m$  - опір взаємоіндукції між основною обмоткою  $W$  і додатковою з числом витків  $kW$  при співпаданні їх осей.  $E_{\Delta m}^{\&}$  є додатковою ЕРС, яка вводиться в ротор через статор. З врахуванням просторової і часової дії струму  $I_{\Delta}^{\&}$  ЕРС  $E_{\Delta m}^{\&}$  направлена під кутом  $\delta/2$  до основних ЕРС  $E_1$  і  $E_2$  і при  $\delta = 150^\circ$  ( $\delta/2 = 75^\circ$ ) практично максимально змінює їх величину і фазу ( $E_1^{\&} = E_2^{\&}$  на рис.3). Зміна ЕРС  $E_2^{\&}$  ротора ( $E^{\&} = E_2^{\&} + E_{\Delta m}^{\&}$ ) при незмінних його параметрах  $r_2$ ,  $x_2$  приводить до зміни величини струму ротора  $I_2^{\&}$  і його фази при незмінному зсуві фаз між ЕРС ротора і його струмом. Збільшення струму ротора збільшує момент двигуна в процесі пуску і розгону його (фіг. 4), що виводить машину на більш високу механічну характеристику, а при постійному навантаженні  $M_c$  на валу двигуна забезпечує зменшення ковзання (від  $S$  до  $S'$  на фіг.4) і, відповідно, зменшення струмів ротора і статора.

З іншої сторони збільшення ЕРС основної обмотки статора до  $E_1^{\&}$ , врівноваженою незмінною напругою  $U$  і падінням напруги в обмотці також веде до зменшення струму в основній обмотці статора як при пуску, так і в установившомуся режимі.

Зв'язок між струмами системи компенсованого асинхронного двигуна визначається умовою рівноваги МРС  $F_1^{\&} + F_{\Delta}^{\&} = F_0^{\&} + F_2^{\&}$ , тобто сумарна МРС обмоток статора  $F_1^{\&} + F_{\Delta}^{\&}$  витрачається на створення основного потоку ( $F_0^{\&}$  - МРС намагнічування) і врівноважує МРС  $F_2^{\&}$  ротора, звідки  $I_1^{\&} + k I_{\Delta}^{\&} e^{j\delta} = I_0^{\&} + I_2^{\&}$  або  $I_1^{\&} = I_0^{\&} - I_2^{\&} - k I_{\Delta}^{\&} e^{j\delta}$ .

Таким чином в компенсованому асинхронному двигуні можливий активний вплив на величини і фази його струмів, втрати потужності в обмотках, на величини моментів і вид механічної характеристики. В залежності від величини  $\delta$  просторового кута зсуву між основною і додатковою обмотками, співвідношення к числа витків їх, величини ємності  $C$  і схеми вмикання конденсаторів КАД є регульований по реактивній потужності, може працювати при будь-якому коефіцієнті потужності від дійсного (базового) його значення до 1 і в ємнісному режимі, при понижених значеннях струмів обмоток і втрат потужності в них, підвищених пускових моментах.

Найбільший ефект в КАД досягається при паралельному з'єднанні двох співвісних обмоток статора ( $\delta = 180^\circ$ ) з повздовжньою ємнісною компенсацією в обмотці з більшим числом витків (по патенту України №30906 А). Але вимоги спрощення конструкції і технології виконання обмоток, підвищення напруги на конденсаторах і зменшення величини їх ємності при збереженні основних властивостей КАД привели до подальшого вдосконалення КАД.

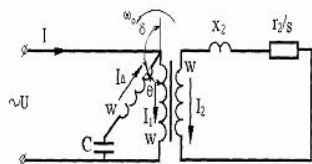
Компенсований асинхронний двигун виконується на базі серійного асинхронного двигуна, шестидесятиградусна фазна зона обмотки статора якого ділиться на дві рівні частини, просторово зсунуті між собою на  $30^\circ$  із з'єднанням в загальний вузол однойменних початків частин обмотки. Одна з частин обмоток є основною, розрахована на фазну напругу мережі і ввімкнена по схемі "зірка" в мережу трифазної напруги. Інша частина обмотки просторово зміщена відносно основної на  $30^\circ$  проти напрямку обертання поля (або  $150^\circ$  по напрямку обертання поля), ввімкнена по відношенню до основної як вторинна обмотка понижуючого поворотного автотрансформатора на навантаження у вигляді електричної ємності конденсаторів, з'єднаних по схемі "трикутник" на виході автотрансформатора.

Можливий варіант виконання частин обмоток статора з розміщенням їх в пазах осердя в два шари, але з просторовим зміщенням частин обмоток на  $30^\circ$  одна відносно другої.

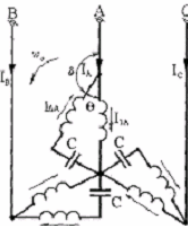
Компенсований асинхронний двигун з обмоткою статора, що складається з двох частин, просторово зміщених одна відносно іншої на  $30^\circ$  і з'єднаних по схемі понижуючого поворотного автотрансформатора на електричну ємність конденсаторів в порівнянні з базовим серійним двигуном в залежності від величини ємності дає можливість:

- за рахунок внутрішньої ємнісної компенсації реактивної потужності знизити пусковий струм на 5-10%, робочий струм обмоток в номінальному режимі на 10-12% з пониженням втрат потужності в обмотках на 15-20%;
- підвищити пусковий момент двигуна на 20-50% з регулюванням його в межах  $(0,8 \dots 1,5) M_{\text{пуск баз}}$ ;
- підвищити коефіцієнт потужності двигуна в межах до 1.

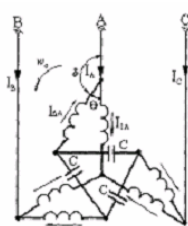
Найбільшого ефекту досягають компенсовані асинхронні двигуни з номінальною потужністю базових двигунів до 10 кВт з відносно низьким дійсним коефіцієнтом потужності.



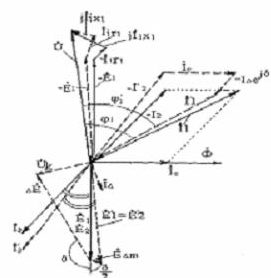
Фиг. 1



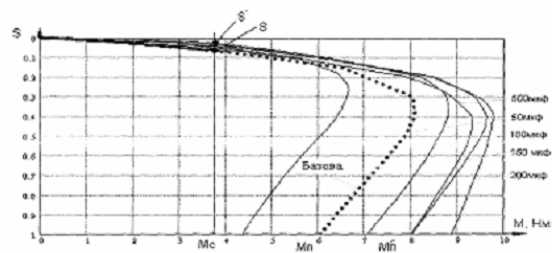
Фиг.2



Фиг.3



Фиг.4



Фиг.5