

УДК 62 - 83 : 621. 313. 333

СПОСІБ ПОКРАЩАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ АСИНХРОННОЇ МАШИНИ

В. І. Мішин, доктор технічних наук

М. Т. Лут, С. С. Макаревич, Р. М. Чуєнко, кандидати технічних наук

e-mail: roman_chuenko@ukr.net

Анотація. *Суміщення способів подвоєння числа фаз і внутрішньої ємнісної компенсації реактивної потужності в асинхронній машині призводить до активного впливу на кількісні показники обертового магнітного поля - одного з головних учасників принципу дії її і процесу електромеханічного перетворення енергії. Запропоновано компенсовані асинхронні машини підвищеної енергоефективності.*

Ключові слова: *подвоєння числа фаз, внутрішня ємнісна компенсація, реактивна потужність, енергоощадність, компенсована асинхронна машина.*

Сучасні способи підвищення енергетичної ефективності електричних машин спрямовані в основному за допомогою комп'ютерних технологій на пошук оптимальних рішень в процесах проектування, виробництва та експлуатації їх, при використанні в машинах нових високоефективних матеріалів на межі їх властивостей і можливостей.

Такі способи не зачіпають сутності фізичних процесів в машині, тобто є пасивними. На їх основі виготовляються і найпоширеніші в техніці конструкційно прості трифазні асинхронні двигуни (АД) з короткозамкненим ротором, які при цьому вважаються енергоощадними. Але незважаючи на численні удосконалення та наукові досягнення техніко-економічні показники АД досі не задовольняють сучасним вимогам енергетики, а їх принцип дії залишається незмінним – таким, як його запропонували більш ніж 125 років

тому першовідкривачі (Г. Ферраріс, Н. Тесла, М. О. Доліво-Добровольський) обертового магнітного поля багатофазних електричних струмів.

Відповідно до принципу дії асинхронного двигуна головним недоліком його є одночасне споживання з мережі двох видів електричної енергії – активної при перетворенні її в механічну для приводу в рух виконавчих механізмів на валу ротора і неминучих при цьому теплових втрат, та реактивної для створення електромагнітного обертового магнітного поля [1, 3]. При цьому реактивна енергія не перетворюється в інші види, але необхідна машині в процесі електромеханічного перетворення активної енергії. Своїм реактивним струмом обміну реактивною енергією між джерелом електроенергії (генераторами електростанцій) і струмоприймачем (у даному випадку двигуном) вона збільшує загальний струм електричної системи, втрати енергії і напруги у всіх елементах її, включаючи і струмоприймач (двигун), вимагаючи підвищення його габаритів і маси, а також витрати матеріалів. За специфічної конструкції магнітопроводу з немагнітним повітряним зазором між феромагнітними осердями статора і ротора асинхронний двигун є одним із найбільших струмоприймачів реактивної потужності, що обумовлює його досить низькі коефіцієнт корисної дії (ККД) та коефіцієнт потужності ($\cos \varphi$).

Мета досліджень – покращення енергоефективності асинхронної машини.

Матеріали та методика досліджень. Компенсація реактивної потужності в розподільних електричних мережах зазвичай здійснюється встановленням додаткових джерел реактивної енергії, у якості яких часто приймають батареї статичних конденсаторів., що вмикаються паралельно струмоприймачу або групі їх (наприклад, паралельно окремому асинхронному електродвигуну або ж групі АД).

Обмін реактивною енергією між конденсаторами і струмоприймачами (електродвигунами) звільняє всі елементи електричної системи (крім самих струмоприймачів – двигунів) від перетоків скомпенсованої частини її, покращуючи умови роботи системи. Власне в самому струмоприймачеві

(наприклад, в АД) фізичні процеси, його властивості, характеристики залишаються незмінними, якими вони були і до компенсації реактивної потужності. Тільки отримує тепер струмоприймач реактивну енергію не від віддалених генераторів електростанцій, а від поруч з ним встановлених додаткових джерел реактивної енергії. Впливаючи на поліпшення умов роботи мережі живлення зовнішня (паралельна) ємнісна компенсація реактивної потужності не чинить вплив на енергетичні властивості струмоприймачів, основним з яких є асинхронний двигун.

Важливою властивістю багатофазної системи змінних електричних струмів єдиної частоти f є здатність їх при певному просторово-часовому круговому розподілі [3] створювати електромагнітно обертове зі швидкістю $\omega_0 = \frac{2\pi f}{p}$ магнітне поле з числом пар полюсів його, залежним від схеми розподілу струмів.

На основі використання такого обертового магнітного поля створені і широко застосовуються в техніці функціонально універсальні асинхронні машини (АМ), з яких найбільше поширення в практиці отримали трифазні асинхронні двигуни (АД) з короткозамкненим ротором.

При незмінній сутності фізичних процесів із створення обертового магнітного поля і принципу дії асинхронного двигуна з метою підвищення його енергетичної ефективності, окрім зазначених вже пасивних, застосовують і деякі активні способи впливу на кількісні та якісні показники магнітного поля, як на одного з провідних учасників процесу електромеханічного перетворення енергії в асинхронній машині.

Так в техніці вже з високою ефективністю використовують частотно-регульований електропривод, хоча складні і дорогі поки перетворювачі та регулятори частоти змінного струму обмежують його застосування.

Перспективним у підвищенні енергоефективності асинхронного двигуна може стати також спосіб збільшення числа фаз його, хоча одночасна зміна числа фаз двигуна і живильної мережі також здійснюється вельми складно.

Але відомі і вже знаходять окремі застосування прості часткові варіанти збільшення числа фаз обмотки статора АД, наприклад, в схемах подвоєння числа їх при незмінних короткозамкненому роторі і числі фаз мережі живлення.

Одним із прикладів такого способу є суміщення в єдиному магнітопроводі осердя статора АД двох однакових за величиною магніторушійної сили (МРС) трифазних обмоток, одна з яких з'єднана за схемою «зірка» (Y), інша - «трикутником» (Δ) (рис.1).

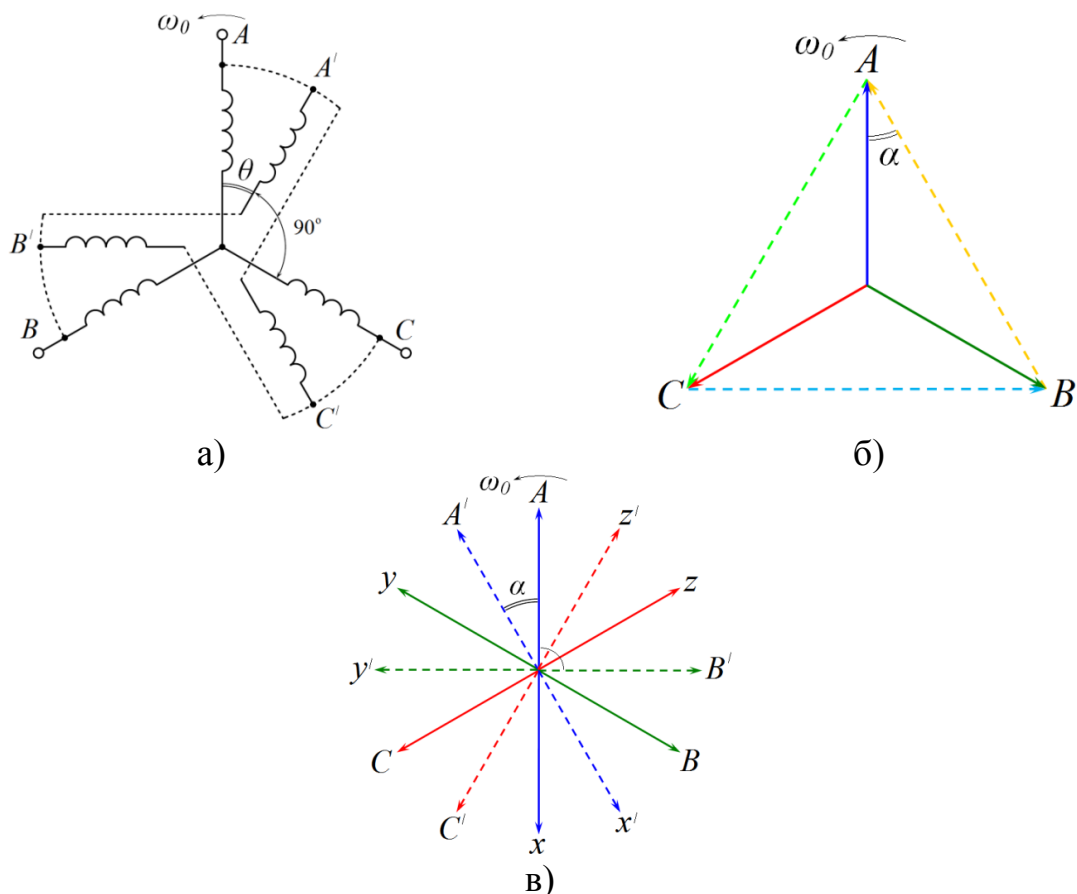


Рис. 1. Принципова електрична схема суміщення обмоток статора трифазного ($m = 3$) асинхронного двигуна при з'єднанні їх зіркою (Y) та трикутником (Δ) (а), векторна діаграма ЕРС фаз цих обмоток (б) та векторна діаграма еквівалентних МРС $2m' = 12$ фазних зон обмоток за подвоєння їх фаз $m' = 2m = 6$

При поділі фазної зони 60° обмотки статора базової трифазної ($m = 3$) асинхронної машини на дві рівні частини, по 30° кожна, в першій частині, при числі пазів на полюс і фазу її $q/2$ (при вихідному $q = \frac{z}{2pm}$) [1] виконується фаза

обмотки за схемою Y, а в пазах наступної (зустрічно майбутньому напрямку обертання поля) частині кожної вихідної фазної зони розташовується відповідна фаза обмотки за схемою «трикутника» (Δ). Таким чином, між осями фаз цих обмоток просторовий кут θ також становить 30° .

За спільної дії в єдиному осерді статора АД двох таких трифазних систем у вигляді (Δ) число фазних зон їх складає $m'' = 2m' = 12$, що відповідає подвоєнню числа фаз статора до $m' = 2m = 6$ (рис. 1б, в). За числа витків фази Δ в $\sqrt{3}$ разів більше числа витків фази Y при зворотному співвідношенні перерізів їх провідників у робочому режимі АД МДС фазних зон однакові за величиною, але зрушені між собою на 30° (рис. 1в), фазні ЕРС різняться $\sqrt{3}$ в разів, лінійні ЕРС збігаються, що дає можливість з'єднати обмотки між собою паралельно на загальну живильну мережу. За просторового зміщення фаз обмотки щодо загального магнітного поля на кут $\theta = 30^\circ$ ЕРС і струми фаз Δ випереджають в часі дію ЕРС і струми фаз Y на кут $\alpha = \theta = 30^\circ$. Внаслідок цього, при $\alpha - \theta = 0$ основні хвилі МРС (їхні перші просторові гармоніки), що обертаються зі швидкістю $\omega_0 = \frac{2\pi f}{p}$, в магнітопроводі просторово збігаються між собою, створюючи максимальну амплітуду хвилі МРС, отже і магнітного потоку, і основної ЕРС.

За розподілу струмів обмоток в пазах колом внутрішнього розточування осердя статора просторова форма кривої МРС є ступінчастою, що, крім основної хвилі, проявляє в ній дію і вищих непарних просторових гармонік $v = 2mk \pm 1$, які обертаються в загальному випадку зі швидкістю $\omega_{0v} = \pm \frac{2\pi f}{vp}$ за числа пар полюсів гармоніки, рівного $p_v = vp$.

У трифазній машині ($m = 3$) з єдиною обмоткою статора спектр вищих просторових гармонік виражається рядом [1] $v = 2mk \pm 1 = -5, 7, -11, 13 \dots$ при $k = 1, 2, \dots$ з яких найбільш шкідливими є паразитні гармоніки - п'ята(зворотної послідовності) і сьома (прямої послідовності), які створюють в машині паразитні моменти і додаткові втрати енергії.

Більш високими гармоніками, при малій їх МРС $F_v = \frac{1}{v}$, зазвичай нехтують, а для боротьби з гармоніками $v = -5; 7$ ускладнюють схему обмотки, застосовуючи двошарові обмотки з укороченим кроком [1, 2], що дещо (на 15–20 %) знижує і основну ЕРС, а отже, і енергетичну ефективність машини.

За подвоєння числа фаз до $m' = 2m$ і фазних зон до $m'' = 2m' = 12$ за схемою, наведеною на рис. 1а, при вихідному числі фаз $m = 3$ мережі живлення, збільшується кількість ступенів фазних зон в просторовій кривій хвилі МРС, яка при цьому наближається до синусоїди, а спектр вищих гармонік її обмежується, тобто починається з ряду $v = 2m'k \pm 1 = 11, 13, \dots$ з виключенням гармонік більш низького порядку $v = -5; 7$. У двох хвилях МДС обмоток за схемами Y і Δ вони просторово зміщені між собою на кути $(\alpha - v\theta)$, що при $v = -5$ і $v = 7$, $\alpha = \theta = 30^\circ$ відповідає $\pm 180^\circ$, тобто в часткових хвилях схем обмоток Y і Δ вони зустрічні по кожній з них і взаємовиключаються в загальній хвилі МРС, а отже, і в струмах обмоток. Це виключає паразитні моменти в машині, зменшує втрати енергії, послаблює шуми і вібрації. Виключається також необхідність виконання складних двошарових обмоток з укороченим кроком для боротьби з ними. Обмотки можуть виконуватися простими одношаровими, з повним кроком, при максимальному, рівному одиниці, обмотувальному коефіцієнті за першою (основною) гармонікою ЕРС і МРС, що максимально збільшує їх, а також підвищує енергетичні показники двигуна. За необхідності збереження колишньої величини ЕРС базової машини відповідно зменшується при цьому необхідний за величиною магнітний потік, МРС, реактивний намагнічуючий струм і загальний струм машини, підвищується ККД, $\cos f$, пусковий момент АД тощо. За відомостями, опублікованими в Internet, пусковий момент так названого енергозберігаючого (енергоощадного) двигуна збільшується на (25–30) % порівняно з базовим серійним АД, ККД і $\cos f$ близькі до номінальних і практично постійні в діапазоні зміни навантаження (0,75–1,5)

від номінального, рівень шуму знижується на 5 ДБ тощо. При цьому автори [7] посиляються на експериментальні дані, які носять в основному рекламний характер. Серйозного теоретичного аналізу та обґрунтувань не наводиться. Значним недоліком способу є відмінності в $\sqrt{3}$ раз кількостей витків фаз обмоток Y і Δ та перерізів їх провідників, що ускладнює технологію виробництва і ремонту електродвигунів.

Результати досліджень. У запропонованому нами способі внутрішньої ємнісної компенсації реактивної потужності [3 ÷ 5] цей недолік усунений. Дві обмотки статора прийняті однаковими за кількістю витків і перерізом проводу, а суміщення його зі способом подвоєння числа фаз ще більш підсилює енергетичні можливості асинхронної машини, названої компенсованою (КАМ).

Аналогом трифазного компенсованого асинхронного двигуна (КАД) [3; 4] за схемою подвоєння числа фаз кожної вихідної фази обмотки статора базової трифазної асинхронної машини з короткозамкненим ротором є однофазний конденсаторний (теж названий компенсований) асинхронний двигун (ОКАД, рис. 2). При поділі фази обмотки статора його на дві, рівні за кількістю витків, частини, просторово зміщені між собою в пазах осердя в загальному випадку на кут $\theta = \frac{\pi}{2m}$ і з'єднані за схемою поворотного автотрансформатора (ПАТ) на електричну ємність. При цьому одна з частин є основною обмоткою статора і первинною обмоткою ПАТ. Вона включена на живильну мережу з напругою U і частотою f . Інша – додаткова, вторинна обмотка ПАТ, разом з ємністю в її колі, є фазозсувною для подвоєння числа фаз. У двигунному режимі машини вона зміщена в пазах щодо основної на кут θ зустрічно напрямку обертання магнітного поля машини, внаслідок чого її ЕРС \dot{E}_Δ випереджає за фазою в часі ЕРС \dot{E}_1 основної обмотки в часі на кут $\alpha = \theta$, $\dot{E}_\Delta = \dot{E}_1 e^{j\theta}$.

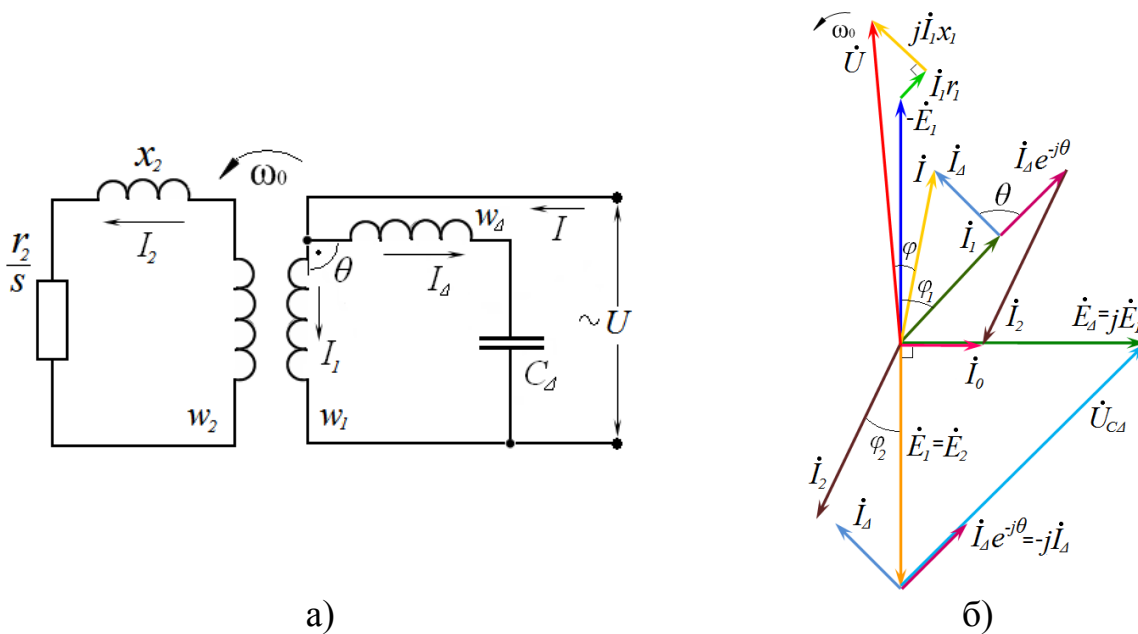
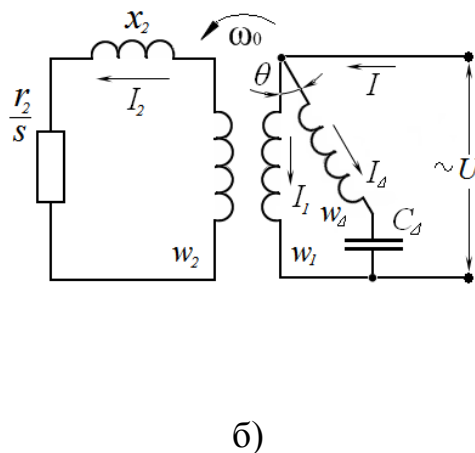
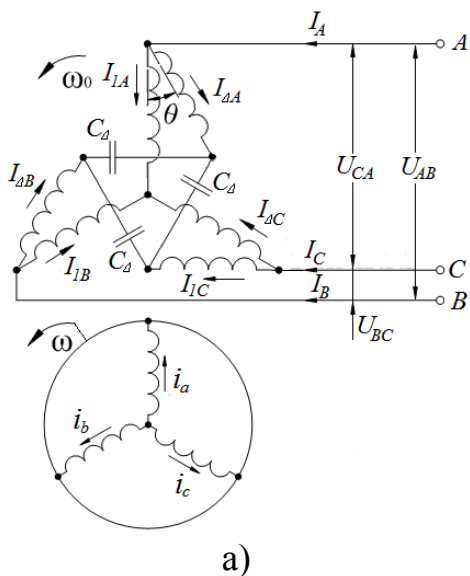


Рис. 2. Схема заміщення однофазного конденсаторного асинхронного двигуна (а) та його спрощена векторна діаграма (б)

У однофазному ($m = 1$) конденсаторному двигуні при куті $\theta = 90^\circ$, рівних і зсунутих між собою в часі на кут α струмах ($I_\Delta = jI_1$) подвоєння числа фаз струмів (рис. 2 а, б) забезпечує створення обертового магнітного поля і моменту для роботи машини в режимі двигуна [1], тоді як при одній обмотці статора змінні струм і магнітний потік створювали змінний за знаком момент, в середньому рівний нулю в нерухомому роторі.

У трифазному ж КАД вихідне магнітне поле базової трифазної АМ вже є обертовим, а поділ фазової зони 60° його обмотки статора на дві просторово зміщені між собою в пазах на кут $\theta = 30^\circ$ при ($m = 3$), обмотки, з'єднані за схемою ПАТ на електричну ємність, крім подвоєння числа фаз (у кожній початковій фазі) викликає ефект внутрішньої ємнісної компенсації реактивної потужності. Тому, крім зазначених раніше позитивних фактів підвищення енергетичної ефективності АД при подвоєнні числа фаз його, наприклад, суміщенням обмоток статора за схемою Δ , дія внутрішньої ємнісної компенсації реактивної потужності додатково підсилює енергетичні можливості КАД, які проявляються – напруга на ємності C_Δ на виході ПАТ за схемами, наведеними на рис. 2а, 3б виражається як $\dot{U}_{c\Delta} = \dot{U} - \dot{U}_\Delta$, або без

урахування падінь напруг в обмотках $\dot{U}_{c\Delta} \approx -\dot{E}_1 + \dot{E}_\Delta$ (рис. 2б, 3в). Струм $\dot{I}_\Delta = \frac{\dot{U}_{c\Delta}}{-jx_{c\Delta}}$ в ємнісному опорі $x_{c\Delta} = \frac{1}{2\pi f c_\Delta}$, ємнісний за суттю, випереджаючи напругу $\dot{U}_{c\Delta}$ на 90° , за рахунок просторового зміщення вторинної обмотки ПАТ і її ЕРС \dot{E}_Δ , по відношенню до напруги \dot{U} живильної мережі є ємнісно-активним, а струм \dot{I}_1 основної обмотки, як і в звичайному АТ, індуктивно-активний. При прямому електричному зв'язку в автотрансформаторній схемі обмоток статора КАД вони утворюють загальний струм його $\dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_\Delta$, близький за фазою до активного, а ємність C_Δ при цьому проявляє компенсуючу дію по реактивній потужності. При цьому електромагнітний автотрансформаторний зв'язок між всіма струмами КАД, просторово приведеними до осі основної обмотки [2; 3], в сумі їх виражає намагнічуючий струм КАД $\dot{I}_0 = \dot{I}_1 + \dot{I}_\Delta e^{-j\theta} + \dot{I}_2$ (рис. 3б), де $\dot{I}_2 = \frac{\dot{E}_2}{z_2}$ – струм фази ротора, зведений до осі основної обмотки статора [2], $\dot{E}_2 = \dot{E}_1 = -jx_m \dot{I}_0$, де \dot{E}_1 – ЕРС основної обмотки статора і зведена до неї ЕРС \dot{E}_2 обмотки ротора, x_m – реактивний опір намагнічуючого контуру КАД [3], $z_2 = r_2/s + jx_2$ – загальний опір фази роторного кола в робочому режимі машини при ковзанні s ротора, r_2, x_2 – власні активний і реактивний опори еквівалентно зведеної фази ротора [6].



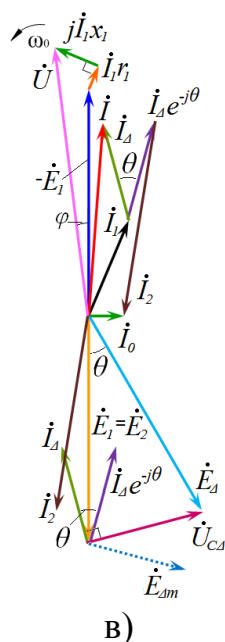


Рис. 3. Принципова електрична схема трифазного компенсованого асинхронного двигуна (а), схема заміщення його фази (б) та її спрощена векторна діаграма (в)

Струм $\dot{I}_d e^{-j\theta}$, просторово зведений до осі основної обмотки двигуна, у складі індуктивного намагнічуючого струму збільшує його, проявляючи підмагнічуючу дію ємнісного струму \dot{I}_d , що при внутрішній ємнісній компенсації знижує на 20–25 % загальне споживання реактивної потужності на створення основного магнітного поля і підвищує $\cos \varphi$ КАД порівняно зі звичайним асинхронним електродвигуном.

З іншого боку, також у складі загального намагнічуючого струму, струм у фазах обмоток статора і ротора створює додаткову ЕРС.

За введення її в короткозамкнений ротор (через статор!) збільшуються ЕРС \dot{E}_2 ротора, $\cos \varphi_2$, пусковий струм і момент (на 25–30 %) порівняно зі звичайним АД, що прискорює розгін двигуна і виводить його на більш високу механічну характеристику з меншим, ніж у звичайного АД, ковзанні s при номінальному навантаженні.

Збільшення ж основної ЕРС \dot{E}_1 , зустрічної напрузі мережі \dot{U} , також знижує робочі струми машини, зменшуючи втрати енергії в обмотках.

З ростом навантаження на валу КАД активні струми збільшують загальні струми обмоток, у тому числі зростає і струм I_{Δ} додаткової обмотки.

Протікаючи ємністю C_{Δ} , він збільшує виробіток його реактивної потужності ємнісного характеру $Q_{c\Delta} = I_{\Delta}^2 x_{c\Delta}$, що дещо зменшує розмагнічування магнітопроводу машини і падіння її швидкості при навантаженні. Однак, як в однофазному ОКАД, так і в трифазному КАД, для збереження рівності величин струмів I_1 і I_{Δ} , зсуву фаз їх у часі, підтримання величин швидкості і моменту машини з ростом навантаження потрібно збільшувати ємність C_{Δ} . Особливо при пуску і розгоні двигунів для забезпечення необхідного моменту величин ємності C_{Δ} повинна перевищувати її значення в нормальному робочому режимі в (3 – 5) разів. Плавне або ступінчасте регулювання величини ємності при цьому ускладнює схему і процес пуску двигуна.

Але збільшення струму I_{Δ} з ростом навантаження або при пуску компенсованого асинхронного двигуна призводить до зростання напруг на послідовно з'єднаних у вторинному колі ПАТ індуктивно-активній за опором додатковій обмотці W_{Δ} та ємності C_{Δ} . При рівних кількостях витків основної W_1 та додаткової W_{Δ} обмоток їх напруги близькі за величиною $U_{\Delta} \approx U$, тоді як при куті $\theta = 30^\circ$ між цими обмотками напруга на ємності C_{Δ} на виході ПАТ невелика і становить $U_{c\Delta} \approx 0,52U$. Тому шунтування додаткової обмотки відносно малою ємністю C_k , при струмі її $I_{ck} = \frac{U_{\Delta}}{-jx_{ck}} \approx \frac{E_{\Delta}}{jx_{ck}}$ (рис. 4) із зростанням навантаження КАД і напруги U_{Δ} може дати значний додатковий виробіток його ємнісної потужності $Q_{ck} = I_{ck}^2 x_{ck}$, що разом з потужністю $Q_{c\Delta}$ ємності C_{Δ} може повністю виключити розмагнічування магнітопроводу КАД при навантаженні, підвищити жорсткість його механічної характеристики, стабілізуючи величину швидкості з ростом навантаження, а при пуску двигуна створить необхідний пусковий момент при постійних ємностях C_{Δ} та C_k подвійного внутрішнього, змішаного (компаунд) ємнісного збудження. При цьому струм ємності C_{Δ} на

виході ПАТ визначається як $\dot{I}_{c\Delta} = \frac{\dot{U}_{\Delta}}{-jx_{c\Delta}}$, а струм в додатковій обмотці дорівнює

$$\dot{I}_{\Delta} = \dot{I}_{c\Delta} - \dot{I}_{ck}, \text{ (рис. 4б).}$$

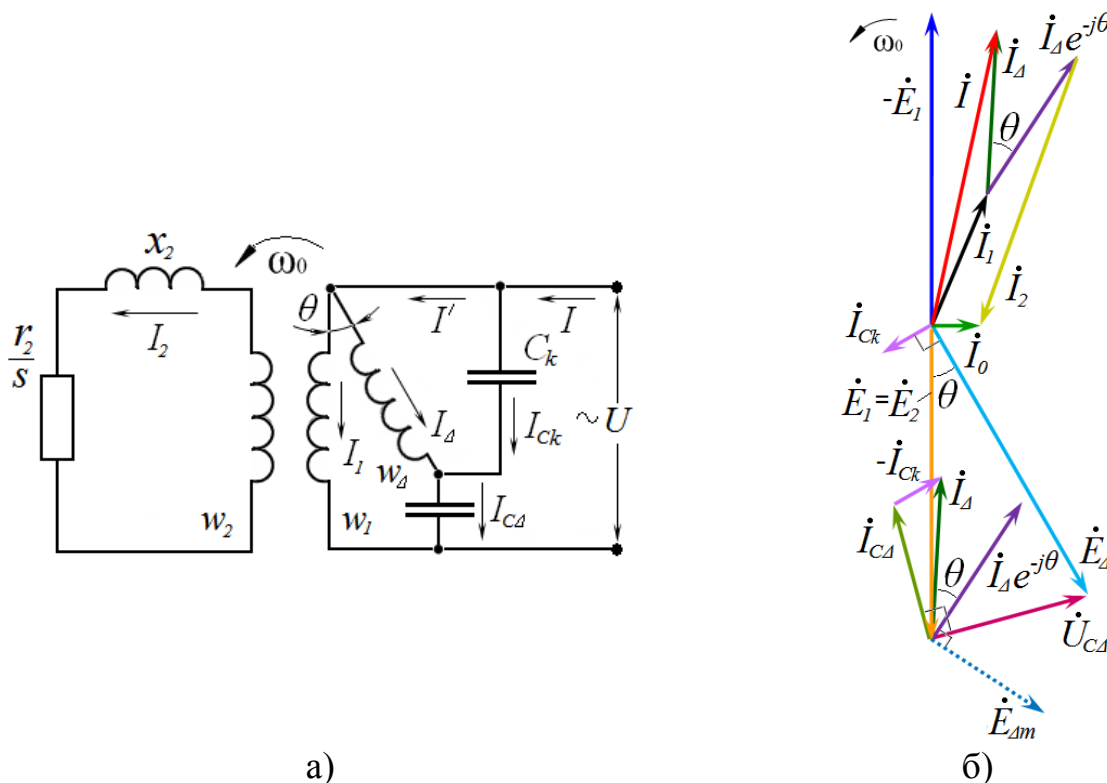


Рис. 4. Схема заміщення фази КАД-2 (а) та її спрощена векторна діаграма (б)

Математична модель і методика розрахунку характеристик КАД наведені в [3; 4]. Компенсована асинхронна машина, як і звичайні АМ, оборотна, тобто може працювати в енергоощадних режимах як двигуна, так і генератора [3; 5]. Особливість принципу оборотності їх за переведення з двигунного режиму в генераторний полягає в необхідності зміни знаку просторового кута θ між двома обмотками фази статора: додаткова (вторинна) обмотка ПАТ зміщується щодо основної на кут θ в напрямку обертання генератора від приводного двигуна. Величина кута $\theta = \frac{\pi}{2m}$ визначається числом фаз генератора: при $m = 1$ $\theta = 90^\circ$, а при $m = 3$ $\theta = 30^\circ$.

Таку зміну знаку кута θ можна провести в нерухомому стані машини з відключенням її від електричної мережі. Тому компенсовані асинхронні генератори призначені для роботи в автономних (КААГ) електроустановках.

Подвійне внутрішнє, змішане (компаунд) ємнісне збудження забезпечує стабілізацію вихідної напруги і частоти з ростом навантаження до номінального і форсування збудження, наприклад, при пуску двигуна сумірної з генератором потужності. А загальна ємність на виході генератора служить для підзбудження його і компенсації реактивної потужності струмоприймача.

Висновки

При суміщенні способів подвоєння числа фаз обмотки статора і внутрішньої ємнісної компенсації реактивної потужності компенсовані асинхронні машини є енергоощадними, з класом енергоефективності (за європейською класифікацією) не нижче ІЕЗ за постійною частотою змінного струму, але у зв'язку з необхідністю ємностей їх потужність обмежена до 11 кВт.

Список літератури

1. Вольдек А.И. Электрические машины / А.И. Вольдек. – Л.: Энергия, 1978. – 832 с.
2. Копылов И.П. Электрические машины / И.П. Копылов. – М.: Высшая школа, 2006. – 607 с.
3. Мішин В.І. Асинхронні електричні машини / [Мішин В.І., Лут М.Т., Макаревич С.С., Чуєнко Р.М.]. – К.: «Аграр Медіа Груп», 2014. – 404 с.
4. Мишин В.И. Эффект внутренней ёмкостной компенсации реактивной мощности в асинхронных двигателях / В.И. Мишин, Р.Н. Чуенко, В.В. Гаврилюк // Электротехника. – 2009. – №8. – С. 30–36.
5. Мишин В.И., Каплун В.В., Макаревич С.С. Автономный асинхронный генератор с внутренним ёмкостным возбуждением. // Электротехника. – 2011. – №3. – С. 20-25.
6. Асинхронные двигатели серии 4А. Справочник. / Кравчик А.Э., Шлаф М.М. и др. – М.: Энергоиздат, 1982. – 196 с.
7. Энергосберегающий асинхронный двигатель с совмещёнными обмотками. Режим доступа: <http://www.techno-oil.org/08.html>

СПОСОБ УЛУЧШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ АСИНХРОННЫХ МАШИН

В. И. Мишин, Н. Т. Лут, С. С. Макаревич, Р. Н. Чуенко

Аннотация. Совмещение способов удвоения числа фаз и внутренней емкостной компенсации реактивной мощности в асинхронной машине приводит к активному воздействию на количественные показатели вращающегося магнитного поля - одного из главных участников принципа действия ее и процесса электромеханического преобразования энергии. Предложены компенсированные асинхронные машины повышенной энергоэффективности.

Ключевые слова: удвоение числа фаз, внутренняя емкостная компенсация, реактивная мощность, экономичность, компенсированная асинхронная машина

METHOD FOR IMPROVING ENERGY ASYNCHRONOUS MACHINE

V. Mishin, M. Loot, S. Makarevich, R. Chuyenko

Abstract. Combining means doubling the number of phases and internal capacitive reactive power compensation in asynchronous machine leads to active influence on quantitative indicators of the rotating magnetic field - one of the main actors and its principle of electromechanical energy conversion process. An asynchronous machine offset increased energy efficiency.

Keywords: doubling the number of phases, the internal capacitive compensation, reactive power, saving, offset by induction machine