Симетричні нерозгалужені трифазні кола синусоїдного струму

**1. Трифазний генератор**

Трифазний генератор має дві основні частини: статор і ротор. На статорі розміщуються три самостійні обмотки, осі яких зсунуті одна щодо іншої в просторі на 120° (рис.4.1).

Разом з ротором обертається створене його струмом магнітне поле й у кожній обмотці наводиться е.р.с. Оскільки е.р.с. досягає максимального значення, коли осі обмотки і полюсів ротора збігаються, то зсув за фазою між трьома е.р.с. становить 120°. Окремі обмотки генератора одержали назву **фаз**, а сам генератор за кількістю фаз називається **трифазним**.

Аналітичні вирази **миттєвих значень е.р.с.** окремих фаз будуть мати при цьому такий вигляд:

;

;

.

##### *Приклад*

Діюче значення фазної е.р.с. дорівнює **220 *В***. Записати миттєві значення фазних е.р.с., прийнявши ***ψеА* = 0**.

*Рішення.*

1. Максимальне значення фазної е.р.с.:

;

.

2. Миттєві значення фазних е.р.с.:

*еА* = 310 sіn*ωt*;

*еB* = 310 sіn(*ωt* – 120°);

*еC* =310 sіn(*ωt* – 240°).

Побудуємо вектори е.р.с. на площині, осі якої зсунемо на 90° проти годинникової стрілки.

Система трьох е.р.с., однакових за величиною і зсунутих за фазою одна щодо іншої на 120°, називається **симетричною трифазною системою е.р.с.** Сума миттєвих значень фазних е.р.с. у будь-який момент часу дорівнює нулю, що видно з векторної діаграми (рис.4.3).

**2. Трифазні системи**

Розрахункова схема окремої фази генератора (наприклад, фази *А*) має вигляд, зображений на рис.4.4. Але частіше її показують так, як зображено на рис.4.5. На цих схемах *r*, *xА*, ** – відповідно активний, реактивний і повний опори обмотки.

Кожну фазу (обмотку) трифазного генератора можна з'єднати з окремим споживачем електричної енергії (фазою навантаження), як показано на рис.4.6. У цьому випадку створюється **незв'язана трифазна система** з трьома самостійними колами і шістьма проводами. Така система неекономічна і тому не знайшла застосування.

Три фази генератора або три фази навантаження можна з'єднати за схемою **зірки**, при цьому однойменні затиски фаз генератора або фаз навантаження поєднуються в один вузол (рис.4.7).

Якщо фази генератора і навантаження, які з'єднані за схемою зірки, поєднати між собою, то створиться **зв'язана трифазна чотирипровідна система** (рис.4.8).

Три проводи, що з'єднують початки фаз генератора і навантаження, називаються **лінійними**, а четвертий, який з'єднує вузли схеми генератора і схеми навантаження, називається **нульовим** (**нейтральним**) проводом. Відповідно струм, що проходить по лінійному проводу, називається **лінійним** струмом, а по нульовому (нейтральному) проводу – **нульовим** (**нейтральним**) струмом.

Відповідно до першого закону Кірхгофа

*iN = iА + iB + iC*.

Три фази генератора або три фази навантаження можна з'єднати за схемою **трикутника**: кінець першої фази з'єднується з початком другої і так далі (рис.4.9).

Якщо фази генератора і навантаження, які з'єднані за схемою трикутника, поєднати між собою, то створиться **зв'язана трифазна трипровідна система** (рис.4.10).

Можна також створити зв'язані трифазні трипровідні системи зі схемами з'єднання фаз генератора і навантаження: **зірка – зірка**, **зірка – трикутник**, **трикутник – зірка**.

**3. З'єднання фаз генератора зіркою**

Складемо розрахункову схему генератора, фази якого з'єднані зіркою, у випадку, коли генератор не навантажений, тобто працює на холостому ході (рис.4.11).

Приймемо, що потенціал точки 0дорівнює нулю, і знайдемо потенціали точок *А*, *В* і *С*:

**;

**;

**;

**.

Різниця потенціалів на затисках фази генератора називається **фазною напругою**.Знайдемо миттєві значення фазних напруг генератора:

**;

**;

**.

Різниця потенціалів на вихідних затисках генератора називається **лінійною напругою**. Знайдемо миттєві значення лінійних напруг генератора:

**;

**;

**.

Побудуємо векторну діаграму фазних і лінійних напруг генератора (для діючих значень) на площині (рис.4.12).

Запишемо миттєві значення фазних і лінійних напруг генератора:

*uА = Uфm* sіn*ωt*;

*uВ = Uфт* sіn(*ωt* – 120°);

*uС = Uфт* sіn(*ωt* – 240°);

*uАB = Uлm* sіn(*ωt* + 30°);

*uBC = Uлт* sіn(*ωt* – 90°);

*uCA = Uлт* sіn(*ωt* – 210°).

де *Uфm* і *Uлm* – максимальні (амплітудні) значення відповідно фазних і лінійних напруг генератора, *В*.

Встановимо зв'язок між діючими значеннями фазних (*Uф*) і лінійних (*Uл*) напруг генератора, для чого розглянемо трикутник напруг (рис.4.13), який одержано з векторної діаграми.

З трикутника напруг знаходимо:

*Uл* = 2*Uф* cos 30° = 2*Uф*=*Uф* .

***Приклад***

Записати миттєві значення фазних і лінійних напруг генератора на холостому ході, якщо діюче значення фазної напруги дорівнює **220 *В*** і ***ψuА* = 0**.

*Рішення.*

1. Максимальне значення фазної напруги:

;

.

2. Миттєві значення фазних напруг:

*uА =* 310 sіn*ωt* ;

*uВ =* 310 sіn(*ωt* – 120°) ;

*uС =* 310 sіn(*ωt* – 240°) .

3. Максимальне значення лінійної напруги:

;

.

4. Миттєві значення лінійних напруг:

*uАB =* 536 sіn(*ωt* + 30°) ;

*uBC =* 536 sіn(*ωt* – 90°) ;

*uCA =* 536 sіn(*ωt* – 210°) .

Складемо розрахункову схему генератора, фази якого з'єднані зіркою, у випадку, коли генератор навантажений (рис.4.14).

Введемо поняття **фазного струму**, під яким будемо розуміти струм, що проходить по фазі генератора. При з'єднанні обмоток генератора зіркою фазний струм дорівнює лінійному струму, тобто

*Iф* = *Iл* .

**4. З'єднання фаз навантаження трикутником**

трифазний генератор коло потужність

Складемо розрахункову схему при з'єднанні навантаження трикутником (рис.4.15). При цьому:

*iА*, *iВ*, *iС* – лінійні струми навантаження, *А*;

*iaв*, *ibc*, *ica* – фазні струми навантаження, *А*;

**, **, ** – лінійні (фазні) напруги навантаження, *В*.

Як видно з розрахункової схеми, фазна напруга навантаження дорівнює лінійній напрузі навантаження, тобто

*Uф = Uл* .

За першим законом Кірхгофа знайдемо лінійні струми через фазні:

*iА* = *iab* – *ica* ;

*iВ* = *ibc* – *iab* ;

*iС* = *ica* – *ibc* .

Встановимо зв'язок між діючими значеннями фазних (*Iф*) і лінійних (*Iл*) струмів навантаження при з'єднанні його фаз трикутником, для чого розглянемо трикутник струмів (рис.4.17), який одержано з векторної діаграми.

З трикутника струмів знаходимо:

*Iл* = 2 *Iф* cos 30° = 2 *Iф*=*Iф* .

**5. Потужності трифазного кола**

Кожна фаза трифазного навантаження споживає активну, реактивну і повну потужності. При симетричному навантаженні та схемі з'єднання фаз навантаження зіркою ці потужності в кожній фазі можна розрахувати в такий спосіб:

;

;

.

Потужності, які споживають три фази навантаження, можна розрахувати, помноживши на кількість фаз навантаження (тобто на три) потужності, які споживає одна фаза:

;

;

.

Визначимо ці потужності через лінійні напруги і струми:

;

;

.

При з'єднанні фаз навантаження трикутником вирази (4.28) і (4.29) справедливі, тільки в цих виразах будуть свої фазні струми і напруги. Визначимо ці потужності через лінійні напруги і струми:

;

;

.

Таким чином, потужності, які споживає трифазне навантаження (незалежно від схеми його з'єднання), можна розрахувати в такий спосіб:

;

;

.

6. Розрахунок нерозгалужених трифазних кіл синусоїдного струму

Розглянемо розрахункову схему трифазного трипровідного електричного кола, яке складається з ідеального генератора, з'єднаного зіркою, ідеальної лінії електропередачі, навантаження, з'єднаного зіркою (рис.4.18).

Нехай задано діюче значення електрорушійної сили *Е* в фазі симетричного генератора і повні опори фаз навантаження

**,

а також коефіцієнти потужності фаз навантаження

cos *ϕа =* cos *ϕb =* cos *ϕс =* cos *ϕ* .

Потрібно розрахувати діючі значення фазних і лінійних сил струмів генератора і навантаження, фазних і лінійних напруг генератора і навантаження, а також потужності, які віддаються генератором і споживаються навантаженням.

Алгоритм розрахунку наступний:

**1.** *Складаємо розрахункову схему однієї фази кола*.

Приймаємо, що потенціал точки 0 дорівнює нулю. Можна довести, що при симетричному режимі роботи кола потенціал точки 0’ також дорівнює нулю.

Тому можна з'єднати точки 0 і 0’, від чого режим роботи кола не зміниться.

Виділяємо одну фазу кола (рис.4.19).

**2.** *Визначаємо діючі значення сил струмів*.

У даному випадку фазний струм генератора дорівнює лінійному струму і дорівнює фазному струму навантаження. Наприклад, для фази *А* він дорівнює:

.

Інші струми *Iв* і *Iс* дорівнюють струму *Iа*.

**3.** *Визначаємо діючі значення фазних напруг*.

У даному випадку фазні напруги генератора дорівнюють фазним напругам навантаження. Наприклад, для фази *а* воно дорівнює:

.

Інші напруги *Uа*, *Uв*, *Uс*, *Ub*, *Uс* дорівнюють *Uа*.

4. *Визначаємо діючі значення лінійних напруг*.

У даному випадку лінійні напруги генератора дорівнюють лінійним напругам навантаження. Наприклад:

.

Інші напруги *Uав*, *Uвс*, *Uса*, *Ubс*, *Uса* дорівнюють *Uаb*.

5. *Визначаємо активну потужність*.

У даному випадку активна потужність, яка віддається генератором, дорівнює активної потужності, яку споживає навантаження:



,

де *Uф* і *Uл* – відповідно фазна і лінійна напруги, *В*;

*Iф* і *Iл* – відповідно фазний і лінійний струми, *А*.

6. *Визначаємо реактивну потужність*.

У даному випадку реактивна потужність, яка віддається генератором, дорівнює реактивної потужності, яку споживає навантаження:



.

7. *Визначаємо повну потужність*.

У даному випадку повна потужність, яка віддається генератором, дорівнює повній потужності, яку споживає навантаження:



.

*Приклад*

Трифазне симетричне навантаження одержує живлення від трифазного симетричного генератора за допомогою ідеальної лінії електропередачі. Генератор з'єднаний зіркою, навантаження з'єднане зіркою, лінія електропередачі трипровідна. Активний опір фази навантаження дорівнює **12 *Ом***, індуктивний опір фази навантаження дорівнює **16 *Ом***. Діюче значення е.р.с. у фазі генератора дорівнює **300 *В***.

Розрахувати дане трифазне електричне коло.

*Рішення.*

1. Розрахункова схема кола приведена на рис.4.18, а для однієї фази – на рис.4.19.

2. Визначаємо повні опори навантаження:

.

3. Визначаємо діючі значення фазних і лінійних сил струмів генератора і навантаження:

.

4. Визначаємо діючі значення фазних напруг генератора і навантаження:

**.

5. Визначаємо діючі значення лінійних напруг генератора і навантаження:

**.

6. Визначаємо кут зсуву фаз навантаження:

.

7. Визначаємо активну потужність, яка віддається генератором і споживається навантаженням:

.

8. Визначаємо реактивну потужність генератора і навантаження:

.

9. Визначаємо повну потужність, яка віддається генератором і споживається навантаженням:

.

**7. Переключення навантаження із зірки на трикутник**

Одержимо основні співвідношення між струмами, а також між потужностями, при переключенні схеми з'єднання фаз навантаження зіркою на схему трикутника (рис.4.20).

При з'єднанні фаз навантаження зіркою лінійний (фазний) струм дорівнює:

.

Знаходимо потужності при з'єднанні фаз навантаження зіркою:

*P*Y= *UлIл* cos *φ* = *Uл*  cos *φ* =  cos *φ* ;

*Q*Y= sin *φ* ;

*S*Y= .

При з'єднанні фаз навантаження трикутником лінійний струм більше фазного в  раз:

.

Знаходимо потужності при з'єднанні фаз навантаження трикутником:

*P*Δ= *UлIл* cos *φ* = *Uл*  cos *φ* = 3 cos *φ* ;

*Q*Δ= 3sin *φ* ;

*S*Δ= 3.

Співвідношення між струмами дорівнює:

.

Знайдемо співвідношення між потужностями:

.

Аналогічно:

 ;  .

Таким чином, при переключенні фаз навантаження зі схеми з'єднання зіркою на схему трикутника лінійні струми і потужності, які споживає навантаження, збільшуються в *три* рази.