

## Лекція 3.

### **АВТОМОБІЛЬНІ ГЕНЕРАТОРИ**

Електрообладнання будь-якого автомобіля включає в себе генератор - основне джерело електроенергії. Разом з регулятором напруги він називається генераторної установкою. На сучасні автомобілі встановлюються генератори змінного струму. Вони найбільшою мірою відповідають вимогам, що пред'являються.

#### **Основні вимоги до автомобільних генераторів**

1. Генератор повинен забезпечувати безперебійну подачу струму і володіти достатньою потужністю, щоб:

- одночасно постачати електроенергію працюють споживачів і заряджати АКБ;
- при включенні всіх штатних споживачів електроенергії на малих обертах двигуна не відбувався сильний розряд акумуляторної батареї;
- напруга в бортовій мережі знаходилося в заданих межах у всьому діапазоні електричних навантажень і частот обертання ротора.

2. Генератор повинен мати достатню міцність, великий ресурс, невеликі масу і габарити, невисокий рівень шуму і радіоперешкод.

#### **Основні поняття**

Розробники і виробники електрообладнання використовують такі поняття.

Генератор - пристрій, що перетворює механічну енергію, одержувану від двигуна, в електричну.

Регулятор напруги - пристрій, що підтримує напругу бортової мережі автомобіля в заданих межах при зміні електричного навантаження, частоти обертання ротора генератора і температури навколишнього середовища.

Акумуляторна стартерная батарея (акумулятор) - накопичує і зберігає електроенергію для запуску двигуна і живлення електроприладів протягом нетривалого часу (при непрацюючому двигуні або недостатньої потужності, що розвивається генератором).

### **Принцип дії генератора.**

В основі роботи генератора лежить ефект електромагнітної індукції. Якщо котушку наприклад, з мідного дроту, пронизує магнітний потік, то при його зміні на висновках котушки з'являється змінна електрична напруга. І навпаки, для утворення магнітного потоку досить пропустити через котушку електричний струм. Таким чином, для отримання змінного електричного струму потрібні котушка, по якій протікає постійний електричний струм, утворюючи магнітний потік, звана обмоткою збудження і сталева полюсна система, призначення якої - підвести магнітний потік до котушок, званим обмоткою статора, в яких наводиться змінна напруга. Ці котушки поміщені в пази сталевий конструкції, муздрамтеатру (пакета заліза) статора. Обмотка статора з його магнітопроводом утворює власне статор генератора, його найважливішу нерухому частину, в якій утворюється електричний струм, а обмотка збудження з полюсною системою і деякими іншими деталями (валом, контактними кільцями) - ротор, його найважливішу обертову частину. Харчування обмотки збудження може здійснюватися від самого генератора. У цьому випадку генератор працює на самозбудженні. При цьому залишковий магнітний потік в генераторі, т. Е. Потік, який утворюють

сталеві частини муздрамтеатру при відсутності струму в обмотці збудження, невеликий і забезпечує самозбудження генератора тільки на занадто високих частотах обертання. Тому в схему генераторної установки, там де обмотки збудження не з'єднані з акумуляторною батареєю, вводять таке зовнішнє з'єднання, звичайно через лампу контролю працездатного стану генераторної установки. Струм, що надходить через цю лампу в обмотку збудження після включення вимикача запалювання і забезпечує початкове збудження генератора. Сила цього струму не повинна бути занадто великою, щоб не розряджати акумуляторну батарею, але і не дуже малої, т. К. В цьому випадку генератор збуджується при занадто високих частотах обертання, тому фірми-виробники обумовлюють необхідну потужність контрольної лампи - звичайно 2 .. 3 Вт.

При обертанні ротора навпаки котушок обмотки статора з'являються поперемінно "північний", і "південний" полюси ротора, т. Е. Напрямок магнітного потоку, що пронизує котушку, змінюється, що і викликає появу в ній змінної напруги. Частота цієї напруги  $f$  залежить від частоти обертання ротора генератора  $N$  і числа його пар полюсів  $p$ :

$$f = p * N / 60$$

За рідкісним винятком генератори закордонних фірм, також як і вітчизняні, мають шість "південних" і шість "північних" полюсів в магнітній системі ротора. В цьому випадку частота  $f$  в 10 разів менше частоти обертання я ротора генератора. Оскільки своє обертання ротор генератора отримує від колінчастого вала двигуна, то по частоті змінної напруги генератора можна вимірювати частоту обертання колінчастого вала двигуна. Для цього у генератора робиться висновок обмотки статора, до якого і підключається тахометр. При цьому напруга на вході тахометра має пульсуючий характер, т. К. Він виявляється включеним паралельно діоду силового випрямляча генератора. З урахуванням передавального числа ( $i$ ) пасової передачі від двигуна до генератора частота сигналу на вході

тахометра  $f_t$  пов'язана з частотою обертання колінчастого вала двигуна  $N_{дв}$  співвідношенням:

$$f = p * N_{дв} (i) / 60$$

Звичайно, в разі прослизання приводного ременя це співвідношення трохи порушується і тому слід стежити, щоб ремінь завжди був досить натягнутий. При  $p = 6$ , (в більшості випадків) наведене вище співвідношення спрощується  $f_t = N_{дв} (i) / 10$ . Бортова мережа вимагає підведення до неї постійної напруги. Тому обмотка статора живить бортову мережу автомобіля через випрямляч, вбудований в генератор. Обмотка статора генераторів закордонних фірм, як і вітчизняних - трифазна. Вона складається з трьох частин, які називаються обмотками фаз або просто фазами, напруга і струми в яких зміщені один щодо одного на третину періоду, т. Е. На 120 електричних градусів, як це показано на рис. І. Фази можуть з'єднуватися в "зірку" чи "трикутник". При цьому розрізняють фазні і лінійні напруги і струми. Фазні напруги  $U_f$  діють між кінцями обмоток фаз. я струми  $I_f$  протікають в цих обмотках, лінійні ж напруги  $U_l$  діють між проводами, що з'єднують обмотку статора з випрямлячем. У цих проводах протікають лінійні струми  $I_l$ . Природно, випрямляч випрямляє ті величини, які до нього підводяться, т. е. лінійні.

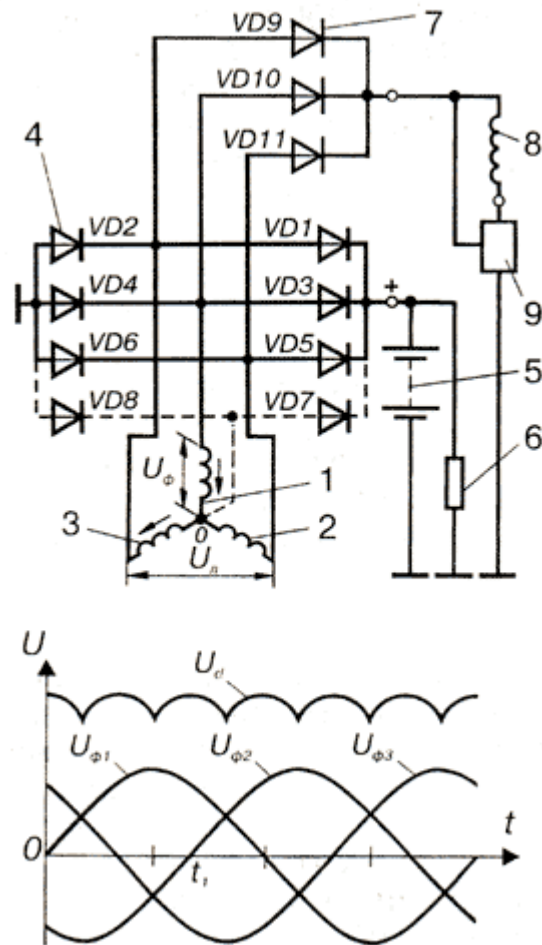


Рис.1. Принципова схема генераторної установки.

$U_{\phi 1}$  -  $U_{\phi 3}$  - напруга в обмотках фаз;  $U_d$  - випрямлена напруга; 1, 2, 3 - обмотки трьох фаз статора; 4 - діоди силового випрямляча; 5 - акумуляторна батарея; 6 - навантаження; 7 - діоди випрямляча обмотки збудження; 8 - обмотка збудження; 9 - регулятор напруги

При з'єднанні в "трикутник" фазні струми в корінь з 3 рази менше лінійних, в той час як у "зірки" лінійні і фазні струми рівні. Це означає, що при тому ж віддається генератором струмі, ток в обмотках фаз, при з'єднанні в "трикутник", значно менше, ніж у "зірки". Тому в генераторах великої потужності досить часто застосовують з'єднання в "трикутник", т. К. При менших струмах обмотки можна намотувати більш тонким проводом, що

більш технологічні. Однак лінійні напруги у "зірки" в корінь з 3 більше фазного, в той час як у "трикутника" вони рівні і для отримання такого ж вихідного напруги, при тих же частотах обертання "трикутник" вимагає відповідного збільшення числа витків його фаз у порівнянні з "зіркою".

Більш тонкий провід можна застосовувати і при з'єднанні типу "зірка". В цьому випадку обмотку виконують з двох паралельних обмоток, кожна з яких з'єднана в "зірку", т. Е. Виходить "подвійна зірка".

Випрямляч для трифазної системи містить шість силових напівпровідникових діодів, три з яких: VD1, VD3 і VD5 з'єднані з виводом "+" генератора, а інші три: VD2, VD4 і VD6 з виводом "-" ("масою"). При необхідності форсування потужності генератора застосовується додаткове плече випрямляча на діодах VD7, VD8, показане на рис.1, пунктиром. Така схема випрямляча може мати місце тільки при з'єднанні обмоток статора в "зірку", т. К. Додаткове плече живиться від "нульовий" точки "зірки".

У значної кількості типів генераторів закордонних фірм обмотка збудження підключається до власного випрямителя, зібраному на діодах VD9-VD 11. Таке підключення обмотки збудження перешкоджає протіканню через неї струму розряду акумуляторної батареї при непрацюючому двигуні автомобіля. Напівпровідникові діоди знаходяться у відкритому стані і не роблять істотного опору проходженню струму при додатку до них напруги в прямому напрямку і практично не пропускають струм при зворотній напрузі. За графіком фазних напруг (див. Рис.1) можна визначити, які діоди відкриті, а які закриті в даний момент. Фазні напруги  $U_{\phi 1}$  діє в обмотці першої фази,  $U_{\phi 2}$  - другий,  $U_{\phi 3}$  - третій. Ці напруги змінюються по кривим, близьким до синусоїди і в одні моменти часу вони позитивні, в інші негативні. Якщо позитивний напрямок напруги в фазі прийняти за стрілкою, спрямованої до нульової точки обмотки статора, а негативне від неї то, наприклад, для моменту часу  $t_1$ , коли напруга другої фази відсутня, першої фази - позитивно, а третій - негативно. Напрямок

напруг фаз відповідає стрілкам, показаним на рис. 1. Струм через обмотки, діоди і навантаження буде протікати в напрямку цих стрілок. При цьому відкриті діоди VD1 і VD4. Розглянувши будь-які інші моменти часу легко переконатися, що в трифазній системі напруження, яке виникає в обмотках фаз генератора, діоди силового випрямляча переходять з відкритого стану в закриті і назад таким чином, що струм в навантаженні має тільки один напрямок - від виведення "+" генераторної установки до її висновку "-" ("масі"), т. е. в навантаженні протікає постійний (випрямлений) струм. Діоди випрямляча обмотки збудження працюють аналогічно, живлячи випрямленою струмом цю обмотку. Причому в випрямляч обмотки збудження теж входять 6 діодів, але три з них VD2, VD4, VD6 загальні з силовим випрямлячем. Так в момент часу  $t_1$  відкриті діоди VD4 і VD9, через які випрямлений струм і надходить в обмотку збудження. Цей струм значно менше, ніж струм, що віддається генератором в навантаження. Тому в якості діодів VD9-VD11 застосовуються малогабаритні слабкострумові діоди на струм не більше 2 А (для порівняння, діоди силового випрямляча допускають протікання струмів силою до 25 ... 35 А).

Залишається розглянути принцип роботи плеча випрямляча, що містить діоди VD7 і VD8. Якби фазні напруги змінювалися чисто по синусоїді, ці діоди взагалі не брали б участі в процесі перетворення змінного струму в постійний. Однак в реальних генераторах форма фазних напруг відрізняється від синусоїди. Вона являє собою суму синусоїд, які називаються гармонійними складовими або гармоніками - першої, частота якої збігається з частотою фазної напруги, і вищими, головним чином, третьої, частота якої в три рази вище, ніж першої. Подання реальної форми фазної напруги у вигляді суми двох гармонік (першої та третьої) показано на рис.2. З електротехніки відомо, що в лінійній напрузі, т. Е. В тому напрузі, яке підводиться до випрямляча і випрямляється, третя гармоніка відсутня. Це пояснюється тим, що треті гармоніки всіх фазних

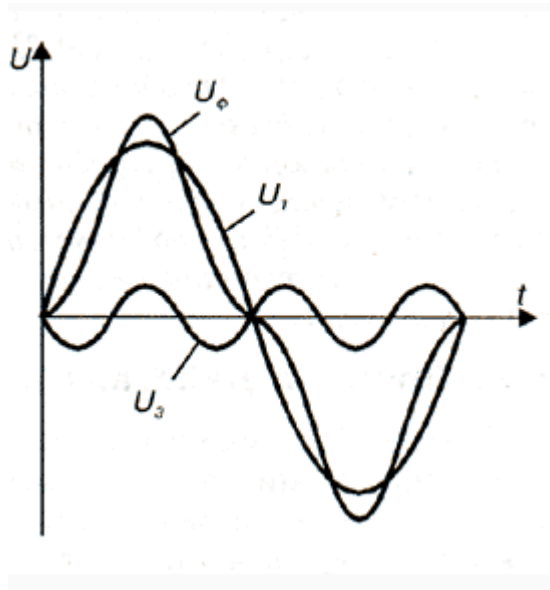


Рис.2. Подання фазної напруги  $U_{\phi}$  у вигляді суми синусоїд першої,  $U_1$ , і третьої  $U_3$ , гармонік

напруг збігаються по фазі, т. е. одночасно досягають однакових значень і при цьому взаємно врівноважують і взаємоуничтожаються один одного в лінійній напрузі. Таким чином, третя гармоніка в фазному напрузі присутній, а в лінійному - немає. Отже потужність, що розвивається третьою гармонікою фазної напруги не може бути використана споживачами. Щоб використовувати цю потужність додані діоди VD7 і VD8, приєднані до нульової точки обмоток фаз, т. е. До точки де дається знаки дія фазної напруги. Таким чином, ці діоди випрямляють тільки напруга третьою гармоніки фазної напруги. Застосування цих діодів збільшує потужність генератора на 5 ... 15% при частоті обертання більше 3000 хв-1.

Випрямлена напруга, як це показано на рис.1, носить пульсуючий характер. Ці пульсації можна використовувати для діагностики випрямляча. Якщо пульсації ідентичні - випрямляч працює нормально, якщо ж картинка на екрані осцилографа має порушення симетрії - можлива відмова діода. Перевірку цю слід проводити при відключеному акумуляторної батареї. Слід звернути увагу на те, що під терміном "випрямний діод", не завжди



ховається звична конструкція, що має корпус, висновки і т. Д. Іноді це просто напівпровідниковий кремнієвий перехід, загерметизований на теплоотводе.

Застосування в регуляторі напруги електроніки і особливо, мікроелектроніки, т. Е. Застосування польових транзисторів або виконання всієї схеми регулятора напруги на монокристалі кремнію, зажадало введення в генераторну установку елементів захисту її від сплесків високої напруги, що виникають, наприклад, при раптовому відключенні акумуляторної батареї, скиданні навантаження. Такий захист забезпечується тим, що діоди силового моста замінені стабілітронами. Відмінність стабілітрона від випрямного діода полягає в тому, що при впливі на нього напруги в зворотному напрямку він не пропускає струм лише до певної величини цієї напруги, званого напругою стабілізації. Зазвичай в силових стабілітронах напруга стабілізації становить 25 ... 30 В. При досягненні цієї напруги стабілітрони "пробиваються", т. Е. Починають пропускати струм в зворотному напрямку, причому в певних межах зміни сили цього струму напруга на стабілітроні, а, отже, і на виведення "+" генератора залишається незмінним, що не досягає небезпечних для електронних вузлів значень. Властивість стабілітрона підтримувати на своїх висновках сталість напруги після "пробою" використовується і в регуляторах напруги.

### **Пристрій генератора**

За своїм конструктивним виконанням генераторні установки можна розділити на дві групи - генератори традиційної конструкції з вентилятором у приводного шківів і генератори так званої компактної конструкції з двома вентиляторами у внутрішній порожнині генератора. Зазвичай "компактні" генератори оснащуються приводом з підвищеним передавальним

відношенням через поліклинові ремінь і тому за прийнятою у деяких фірм термінології, називаються високошвидкісними генераторами. При цьому всередині цих груп можна виділити генератори, у яких щітковий вузол розташований у внутрішній порожнині генератора між полюсною системою ротора і задньою кришкою і генератори, де контактні кільця і щітки розташовані поза внутрішньої порожнини. У цьому випадку генератор має кожух, під яким розташовується щітковий вузол, випрямляч і, як правило, регулятор напруги.

Будь-генератор містить статор з обмоткою, затиснутий між двома кришками - передньої, з боку приводу, і задній, з боку контактних кілець. Кришки, відлиті з алюмінієвих сплавів, мають вентиляційні вікна, через які повітря продувається вентилятором крізь генератор.

Генератори традиційної конструкції забезпечені вентиляційними вікнами тільки в торцевій частині, генератори "компактної" конструкції ще й на циліндричній частині над лобовим сторонами обмотки статора. "Цю компактну" конструкцію відрізняє також сильно розвинене ребра, особливо в циліндричній частині кришок. На кришці з боку контактних кілець кріпляться щітковий вузол, який часто об'єднаний з регулятором напруги, і випрямний вузол. Кришки зазвичай стягнуті між собою трьома або чотирма гвинтами, причому статор зазвичай виявляється затиснутий між кришками, посадкові поверхні яких охоплюють статор на зовнішній поверхні. Іноді статор повністю втоплений в передній кришці і не впирається в задню кришку, існують конструкції, у яких середні листи пакета статора виступають над іншими і вони є посадковим місцем для кришок. Кріпильні лапи і натяжний вухо генератора відливаються заодно з кришками, причому, якщо кріплення двухлапное, то лапи мають обидві кришки, якщо однолапное - тільки передня. Втім, зустрічаються конструкції, у яких однолапное кріплення здійснюється стикуванням припливів задньої і передньої кришок, а також двухлапні кріплення, при якому одна з

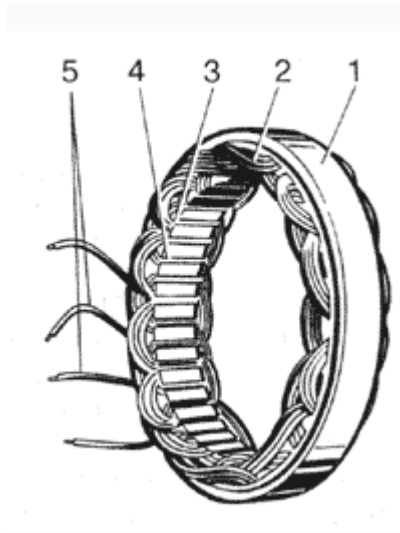


Рис.3 Статор генератора:

1 - сердечник, 2 - обмотка, 3 - пазовий клин, 4 - паз, 5 - висновок для з'єднання з випрямлячем

Статор генератора (рис.3) набирається з сталевих листів товщиною 0.8 ... 1 мм, але частіше виконується навивкой "на ребро". Таке виконання забезпечує менше відходів при обробці і високу технологічність. При виконанні пакета статора навивкой ярмо статора над пазами зазвичай має виступи, за якими при навивці фіксується положення шарів один щодо одного. Ці виступи покращують охолодження статора за рахунок більш розвиненою його зовнішньої поверхні. Необхідність економії металу призвела і до створення конструкції пакета статора, набраного з окремих підковоподібних сегментів. Скріплення між собою окремих аркушів пакета статора в монолітну конструкцію здійснюється зварюванням або заклепками. Практично всі генератори автомобілів масових випусків мають 36 пазів, в яких розташовується обмотка статора. Пази ізолювані плівковою ізоляцією або напиленням епоксидного компаунда.

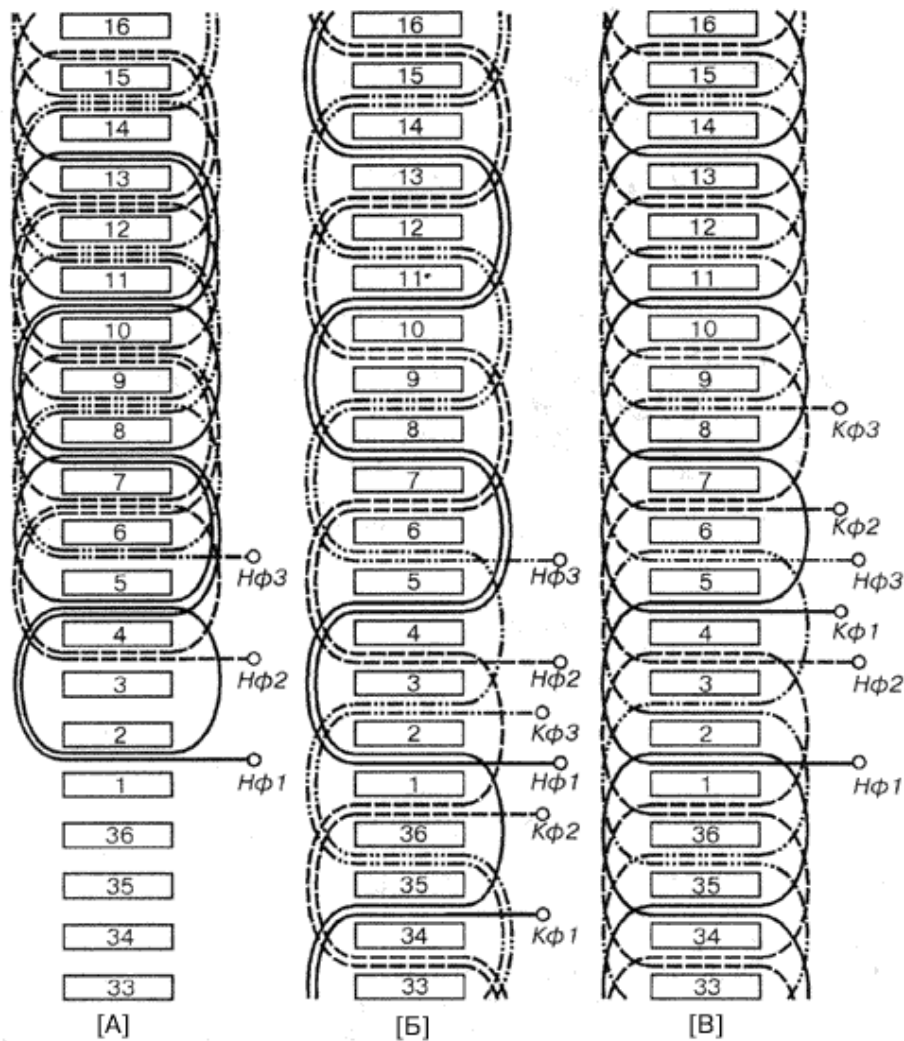


Рис.4. Схема обмотки статора генератора:

А - петлевая розподілена, Б - хвильова зосереджена, В - хвильова розподілена

----- 1 фаза, - - - - - 2 фаза, -.-.-.-.- 3 фаза

У пазах розташовується обмотка статора, виконувана за схемами (рис.4) у вигляді петлевий розподіленої (рис.4, А) або хвильової зосередженої (рис.4, б), хвильової розподіленої (рис.4, В) обмоток. Петльова обмотка відрізняється тим, що її секції (або напівсекції) виконані у вигляді котушок з лобовими з'єднаннями по обом сторонам пакета статора навпроти один одного. Хвильова обмотка дійсно нагадує хвилю, т. К. Її лобові з'єднання між сторонами секції (або напівсекції) розташовані по черзі то з одного, то з іншого боку пакета статора. У розподіленої обмотки секція

розбивається на дві напівсекції, які виходять із одного паза, причому одна напівсекції виходить вліво, інша направо. Відстань між сторонами секції (або напівсекції) кожної обмотки фази становить 3 пазових ділення, тобто якщо одна сторона секції лежить в пазу, умовно прийнятому за перший, то друга сторона укладається в четвертий паз. Обмотка закріплюється в пазу пазовим клином з ізоляційного матеріалу. Обов'язково є просочення статора лаком після укладання обмотки.

Особливістю автомобільних генераторів є вид полюсної системи ротора (рис.5). Вона містить дві полюсні половини з виступами - полюсами ключовообразную форми по шість на кожній половині. Полюсні половини виконуються штампуванням і можуть мати виступи - полувтулкі. У разі відсутності виступів при напресування на вал міжполюсними половинами встановлюється втулка з обмоткою збудження, намотаною на каркас, при цьому намотування осушчується після установки втулки всередину каркаса.

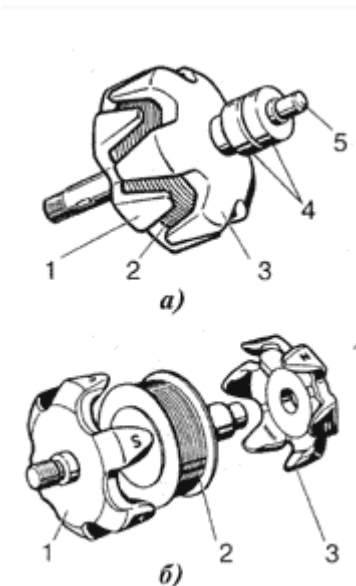


Рис.5. Ротор автомобільного генератора: а - у зборі; б - полюсна система в розібраному вигляді; 1,3 полюсні половини; 2 - обмотка збудження; 4 - контактні кільця; 5 - вал

Якщо полюсні половини мають полувтулки, то обмотка збудження попередньо намотується на каркас і встановлюється при напресування полюсних половин так, що полувтулки входять всередину каркаса. Торцеві щічки каркаса мають виступи-фіксатори, що входять в межполюсні проміжки на торцях полюсних половин і перешкоджають провороту каркаса на втулці. Напресовує полюсних половин на вал супроводжується їх зачеканенням, що зменшує повітряні зазори між втулкою і полюсними половинами або полувтулками, і позитивно позначається на вихідних характеристиках генератора. При зачеканці метал затікає в проточки вала, що ускладнює перемотування обмотки збудження при її перегорання або обриві, т. К. Полюсна система ротора стає трудноразборной. Обмотка збудження в зборі з ротором просочується лаком. Дзьоби полюсів по краях зазвичай мають скоси з однієї або двох сторін для зменшення магнітного шуму генераторів. У деяких конструкціях для тієї ж мети під гострими конусами дзьобів розміщується антишумове немагнітне кільце, розташоване над обмоткою збудження. Це кільце запобігає можливість коливання дзьобів при зміні магнітного потоку і, отже, випромінювання ними магнітного шуму.

Після збирання проводиться динамічне балансування ротора, яка здійснюється висвердлюванням надлишку матеріалу у полюсних половин. На валу ротора розташовуються також контактні кільця, що виконуються найчастіше з міді, з обпресуванням їх пластмасою. До кілець припаиваються або приварюються висновки обмотки збудження. Іноді кільця виконуються з латуні або нержавіючої сталі, що знижує їх знос і окислення особливо при роботі у вологому середовищі. Діаметр кілець при розташуванні щітково-контактного вузла поза внутрішньої порожнини генератора не може перевищувати внутрішній діаметр підшипника, що встановлюється в кришку з боку контактних кілець, т. К. При складанні підшипник проходить над кільцями. Малий діаметр кілець сприяє крім того зменшенню зносу

щіток. Саме за умовами монтажу деякі фірми застосовують в якості задньої опори ротора роликові підшипники, тому що кулькові того ж діаметру мають менший ресурс.

Вали роторів виконуються, як правило, з м'якою автоматної сталі, однак, при застосуванні роликового підшипника, ролики якого працюють безпосередньо з кінця вала з боку контактних кілець, вал виконується з легованої сталі, а цапфа вала цементується і гартується. На кінці вала, забезпеченому різьбленням, прорізається паз під шпонку для кріплення шківів. Однак, у багатьох сучасних конструкціях шпонка відсутня. В цьому випадку торцева частина вала має поглиблення або виступ під ключ у вигляді шестикутника. Це дозволяє утримувати вал від проворота при затягуванні гайки кріплення шківів, або при розбиранні, коли необхідно зняти шків і вентилятор.

Щітковий вузол - це пластмасова конструкція, в якій розміщуються щітки тобто ковзаючі контакти. В автомобільних генераторах застосовуються щітки двох типів - меднографітні і електрографітні. Останні мають підвищений падіння напруги в контакті з кільцем в порівнянні з меднографітними, що несприятливо позначається на вихідних характеристиках генератора, проте вони забезпечують значно менший знос контактних кілець. Щітки притискаються до кілець зусиллям пружин. Зазвичай щітки встановлюються по радіусу контактних кілець, але зустрічаються і так звані реактивні щіткотримачі, де вісь щіток утворює кут з радіусом кільця в місці контакту щітки. Це зменшує тертя щітки в напрямних щіткотримача і тим забезпечується більш надійний контакт щітки з кільцем. Часто щіткотримач і регулятор напруги утворюють нерозбірний єдиний вузол.