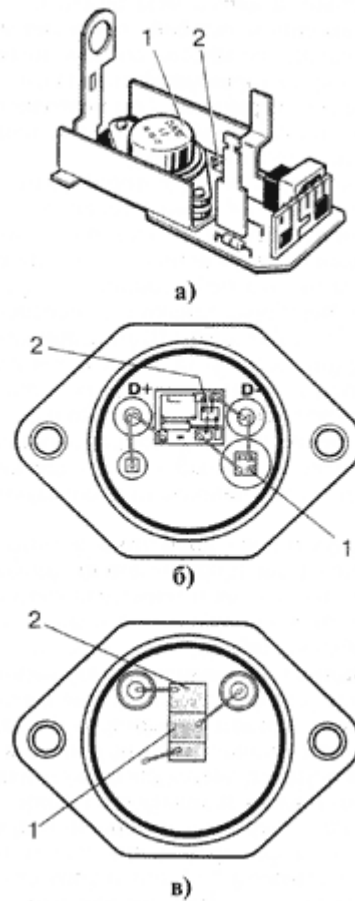


## Лекція 4

### КОНСТРУКЦІЯ І СХЕМОТЕХНІКА ГЕНЕРАТОРІВ

Випрямні вузли застосовуються двох типів - або це пластини-тепловідводи, в які запресовуються діоди (стабілітрони) силового випрямляча або на яких розпаювали і герметизували кремнієві переходи цих діодів, або це конструкції з сильно розвиненими ребрами, в яких діоди, зазвичай таблеткового типу, припаювалися до тепловідводу . Діоди додаткового випрямляча для обмотки збудження мають зазвичай пластмасовий корпус циліндричної форми або у вигляді горошини або виконуються у вигляді окремого герметизованого блоку, включення в схему якого здійснюється шинками. Включення випрямних блоків в схему генератора здійснюється розпаюванням або зварюванням виводів фаз на спеціальних монтажних майданчиках випрямляча або гвинтами. Найбільш небезпечним для генератора і особливо для проводки автомобільної бортової мережі є замикання пластин тепловідводів, з'єднаних з "масою" і виведенням "+" генератора випадково потрапили між ними металевими предмети або провідними містками, утвореними забрудненням, тому що при цьому відбувається коротке замикання по ланцюгу акумуляторної батареї і можливий пожежа. Щоб уникнути цього пластини та інші частини випрямляча генераторів деяких фірм частково або повністю покривають ізоляційним шаром. У монолітну конструкцію випрямного блоку тепловідводи об'єднуються в основному монтажними платами з ізоляційного матеріалу, армованими сполучними шинками.

Підшипникові вузли генераторів це, як правило, радіальні кулькові підшипники з одноразовою закладкою пластичного мастила на весь термін служби і одне або двосторонніми ущільненнями, вбудованими в підшипник.



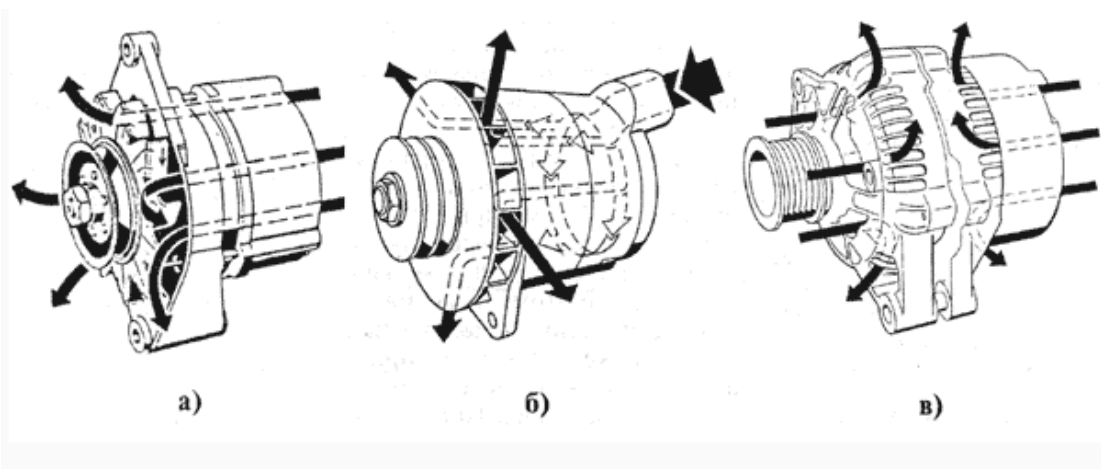
**Рис.6. Регулятори напруги фірми Bosch різного виконання.**

**а - на дискретних елементах; б - гібридний монтаж; в - схема на монокристалі кремнія. 1 - силовий вихідний каскад, 2 - схема управління**

Конструкцію регуляторів напруги в значній мірі визначає технологія їх виготовлення. При виготовленні схеми на дискретних елементах, регулятор зазвичай має друковану плату, на якій розташовуються ці елементи. При цьому деякі елементи, наприклад, настроювальні резистори можуть виконуватися по товстоплівкової технології. Гібридна технологія передбачає, що резистори виконуються на керамічній пластині і з'єднуються з напівпровідниковими елементами - діодами, стабілітронами, транзисторами, які в бескорпусном або корпусному виконанні распаюються на металевій підкладці. У регуляторі, виконаному на монокристалі кремнію, вся схема регулятора розміщена в цьому кристалі. На рис.6 зображено розвиток

регуляторів напруги фірми Bosch, що включають в себе всі перераховані конструкції. Гібридні регулятори напруги і регулятори напруги на монокристале ремонту не підлягають.

Охолодження генератора здійснюється одним або двома вентиляторами, закріпленими на його валу. При цьому у традиційній конструкції генераторів (рис. 7, а) повітря засмоктується відцентровим вентилятором в кришку з боку контактних кілець. У генераторів, що мають щітковий вузол, регулятор напруги і випрямляч поза внутрішньої порожнини і захищених кожухом, повітря засмоктується через прорізи цього кожуха, направляючи повітря в найбільш нагріті місця - до випрямляча і регулятора напруги. На автомобілях з щільною компоновкою підкапотного простору, в якому температура повітря занадто велика, застосовують генератори зі спеціальним кожухом (рис. 7, б), закріпленим на задній кришці і забезпеченим патрубком зі шлангом, через який в генератор надходить холодне і чисте забортне повітря.



**Рис.7. Система охолодження генераторів.**

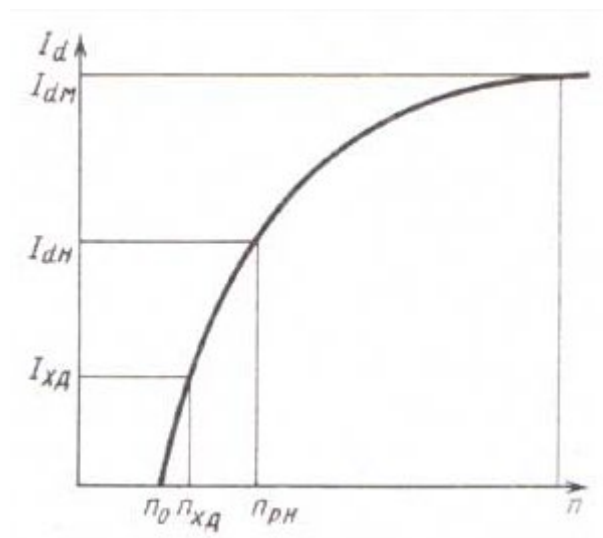
**а - генератори звичайної конструкції; б - генератори для підвищеної температури в підкапотному просторі; в - генератори компактної конструкції. Стрілками показано напрямки повітряних потоків**

Такі конструкції застосовуються, наприклад, на автомобілях BMW. У генераторів "компактної" конструкції охолоджуючий повітря забирається з боку як задньої, так і передньої кришок.

Генератори великої потужності, що встановлюються на спецавтомобілі, вантажівки і автобуси мають деякі відмінності. Зокрема, в них зустрічаються дві полюсні системи ротора, насаджені на один вал і, отже, дві обмотки збудження, 72 паза на статорі і т. П. Однак принципових відмінностей в конструктивному виконанні цих генераторів від розглянутих конструкцій немає.

### Характеристики генераторних установок

Здатність генераторної установки забезпечувати споживачів електроенергією на різних режимах роботи двигуна визначається його струмошвидкісною характеристикою (СШХ) - залежністю найбільшої сили струму, що віддається генератором, від частоти обертання ротора при постійній величині напруги на силових висновках. На рис. 8 представлена струмошвидкісна характеристика генератора.



**Рис. 8. Струмошвидкісна характеристика генераторних установок.**

На графіку є такі характерні точки:

$n_0$  - початкова частота обертання ротора без навантаження, при якій генератор починає віддавати струм;  $I_{хд}$  - струм віддачі генератора при частоті обертання, що відповідає мінімальним стійким оборотами холостого ходу двигуна. На сучасних генераторах струм, що віддається в цьому режимі, становить 40-50% від номінального;  $I_{dm}$  - максимальний (номінальний) струм віддачі при частоті обертання ротора 5000 хв-" '(6000 хв' 'для сучасних генераторів).

Розрізняють ТШХ, певні:

- при самозбудженні (ланцюг обмотки збудження живиться від власного генератора);
- при незалежному збудженні (ланцюг обмотки збудження живиться від стороннього джерела);
- для генераторної установки (регулятор напруги включений в схему);
- для генератора (регулятор напруги відключений);

На щитку генератора зазвичай вказуються його основні параметри:

- номінальну напругу 14 або 28 В (в залежності від номінальної напруги системи електрообладнання);
- номінальний струм, за який приймається максимальний струм віддачі генератора.
- Тип, марка генератора

Основною характеристикою генераторної установки є її СШХ т. е. залежність струму, що віддається генератором в мережу, від частоти обертання його ротора при постійній величині напруги на силових клеммах генератора.

Характеристика ця визначається при роботі генераторної установки в комплекті з повністю зарядженої акумуляторної батареї з номінальною

емністю, вираженої в Ач, складовою чисельно не менше 50% номінальної сили струму генератора. Характеристика може визначатися в холодному і нагрітому станах генератора. При цьому під холодним станом розуміється таке, при якому температура всіх частин і вузлів генератора дорівнює температурі навколишнього середовища, величина якої повинна бути  $23 \pm 5^\circ \text{C}$ . СШХ має характерні точки, до яких відносяться:

$n_0$  - початкова частота обертання без навантаження. Оскільки зазвичай зняття характеристики починають з струму навантаження (близько 2А, то ця точка виходить екстраполяцією знятої характеристики до перетину з віссю абсцис.

$n_L$  - мінімальна робоча частота обертання, т. е. частота обертання, приблизно відповідна частоті холостого ходу двигуна. Оскільки передавальне число пасової передачі 1,5 - 2, то умовно приймається,  $n_L = 1500 \text{ хв-1}$ . Цій частоті відповідає струм  $I_L$ . Фірма Bosch для "компактних" генераторів прийняла  $n_L = 1800 \text{ хв-1}$ . Зазвичай  $I_L$  становить 40 ... 50% номінального струму.

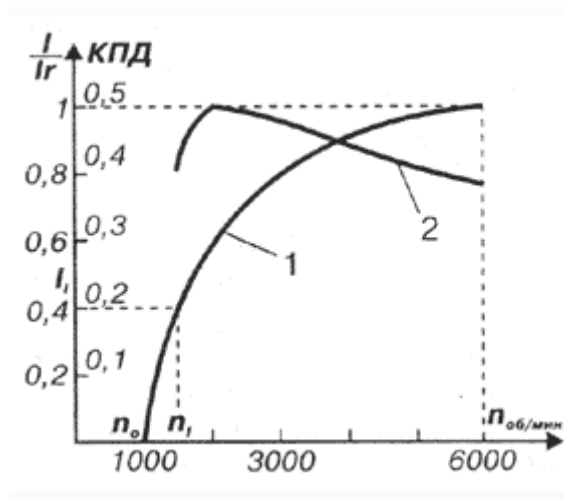
$n_R$  - номінальна частота обертання, при якій виробляється номінальний струм  $I_R$ . Ця частота обертання прийнята  $n_R = 6000 \text{ хв-1}$ .  $I_R$  - найменша сила струму, який генераторна установка повинна виробити при частоті обертання  $n_R$ .

$n_{MAX}$  - максимальна частота обертання. При цій частоті обертання генератор виробляє максимальну силу струму  $I_{max}$ . Зазвичай максимальна сила струму мало відрізняється від номінального  $I_R$  (не більше, ніж на 10%).

Виробники наводять у своїх інформаційних матеріалах в основному тільки характерні точки СШХ. Однак, для генераторних установок легкових автомобілів з достатнім ступенем точності можна визначити СШХ за відомою номінальній величині сили струму  $I_R$  і характеристиці по рис.8, де величини сили струму генератора дані по відношенню до її номінальній величині.

Крім СШХ генераторну установку характеризує ще й частота самозбудження. При роботі генератора на автомобілі в комплекті з акумуляторною батареєю генераторна установка повинна самозбуджуватися при частоті обертання двигуна меншою, ніж частота обертання його холостого ходу. При цьому, звичайно, в схему повинні бути включені лампа контролю працездатного стану генераторної установки потужністю, обумовленої для неї фірмою-виробником генератора і паралельно їй резистори, якщо вони передбачені схемою.

Іншою характеристикою, по якій можна уявити енергетичні здатності генератора, т. Е. Визначити величину потужності, що забирається генератором від двигуна, є величина його коефіцієнта корисної дії (ККД), що визначається в режимах відповідних точкам токоскоростной характеристики (рис.9), величина ККД по рис.8 наведено для орієнтування, тому що вона залежить від конструкції генератора - товщини пластин, з яких набрано статор, діаметра контактних кілець, підшипників, опору обмоток і т. п., але, головним чином, від потужності генератора. Чим генератор потужніше, тим його ККД вище.



**Рис.9. Вихідні характеристики автомобільних генераторів:**

**1 - ТШХ, 2 - ККД по точкам ТШХ**

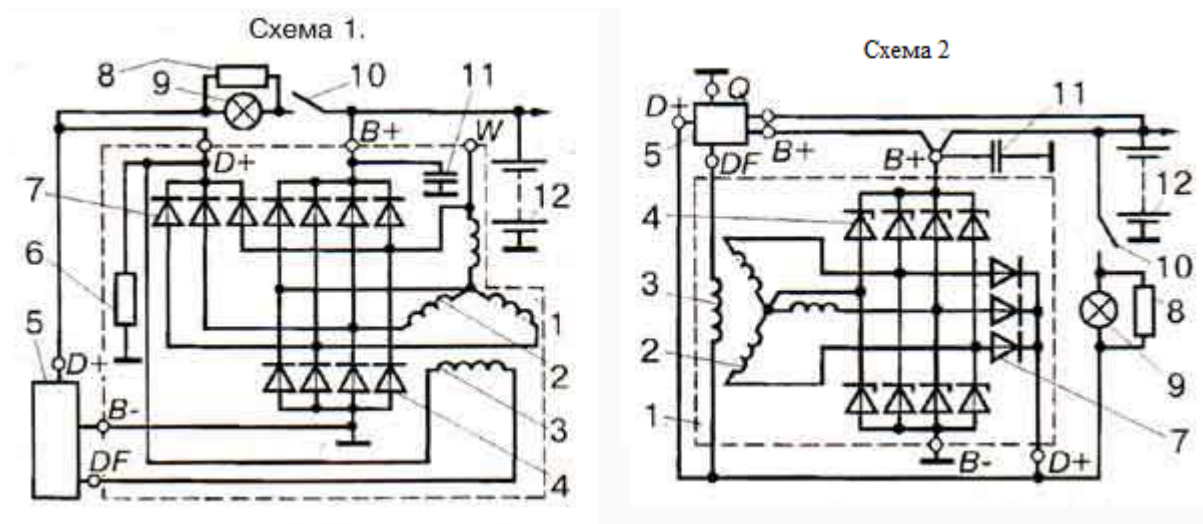
Нарешті, генераторну установку характеризує діапазон її вихідної напруги, при зміні в певних межах частоти обертання, сили струму навантаження і температури. Зазвичай в проспектах фірм вказується напруга між силовим виводом "+" і "масою" генераторної установки в контрольній точці або напруга настройки регулятора при холодному стані генераторної установки частоті обертання 6000 хв-1, навантаженні силою струму 5 А і роботі в комплекті з акумуляторною батареєю, а також термокомпенсація - зміна регульованої напруги залежно від температури навколишнього середовища. Термокомпенсація вказується у вигляді коефіцієнта, що характеризує зміну напруги при зміні температури навколишнього середовища на  $\sim 1^\circ \text{C}$ . Як було показано вище, з ростом температури напруга генераторної установки зменшується. Для легкових автомобілів деякі фірми пропонують генераторні установки з наступним напругою настройки регулятора і термокомпенсацією:

Напруга настройки:  $14,1 \pm 0,1 \text{ У} \dots 14,5 + 0,1 \text{ В}$ . Термокомпенсація:  $-7 + 1,5 \dots -10 \pm 2 \text{ мВ} / ^\circ \text{C}$

### **Електричні схеми генераторних установок**

В даний час все генераторні установки оснащуються напівпровідниковими електронними регуляторами напруги, як правило вбудованими в середину генератора. Схеми їх виконання і конструктивне оформлення можуть бути різні, але принцип роботи у всіх регуляторів однаковий. На рис. 10 схема 1 має обмотку збудження, підключену одним виводом до плюса живлення, а схема 2 має обмотку збудження, підключену одним виводом до мінуса живлення (корпусу). Крім того, на схемі 2 силові діоди мають характеристики стабілітронів.

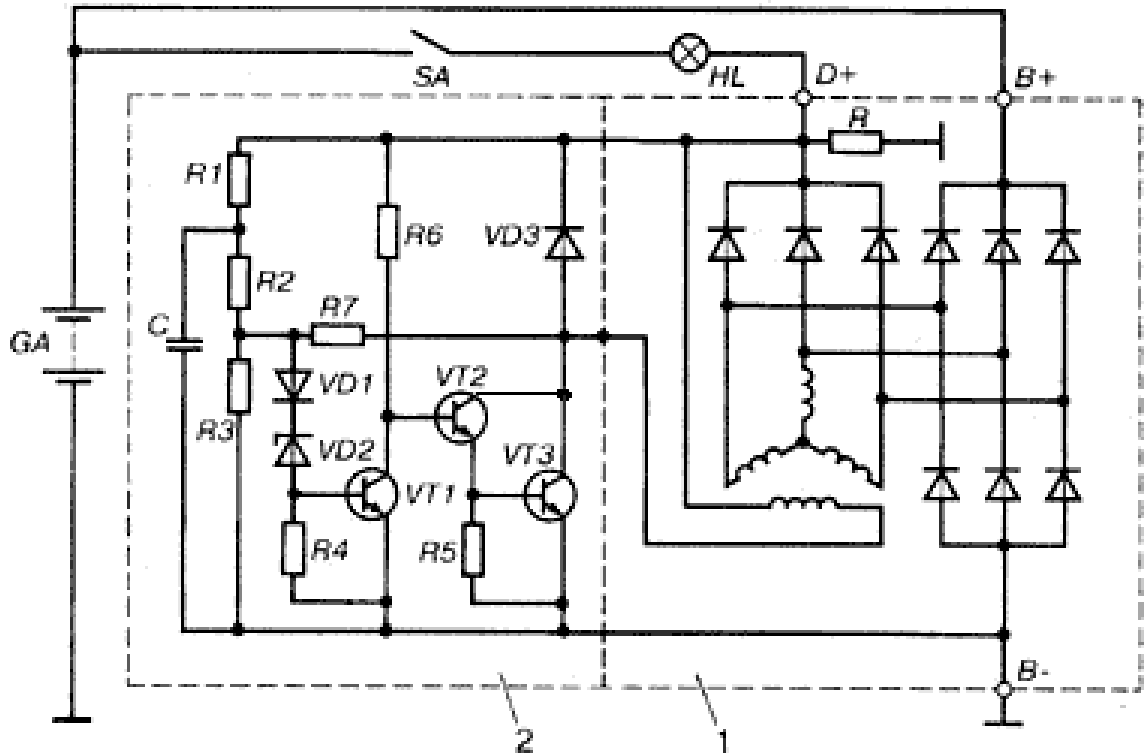




**Рис. 10. Схема 1 має обмотку збудження, підключену одним висновком до плюса живлення, а схема 2 має обмотку збудження, підключену одним висновком до мінуса живлення (корпусу)**

Напруга генератора без регулятора залежить від частоти обертання його ротора, магнітного потоку, створюваного обмоткою збудження, а, отже, від сили струму в цій обмотці і величини струму, що віддається генератором споживачам. Чим більше частота обертання і сила струму збудження, тим більша напруга генератора, чим більше сила струму його навантаження - тим менше ця напруга. Функцією регулятора напруги є стабілізація напруги при зміні частоти обертання і навантаження за рахунок впливу на струм збудження. Звичайно можна змінювати струм в ланцюзі збудження введенням в цей ланцюг додаткового резистора, як це робилося в колишніх вібраційних регуляторах напруги, але цей спосіб пов'язаний з втратою потужності в цьому резисторі і в електронних регуляторах не застосовується. Електронні регулятори змінюють струм порушення шляхом включення і відключення обмотки збудження від джерела живлення, при цьому змінюється відносна тривалість часу включення обмотки збудження. Якщо для стабілізації напруги потрібно зменшити середню силу струму збудження, час включення обмотки збудження зменшується, а час виключення обмотки збудження зменшується, якщо потрібно збільшити струм збудження, час включення обмотки збудження збільшується, а час виключення обмотки збудження зменшується.

Принцип роботи електронного регулятора зручно продемонструвати досить простою схемою регулятора типу EE14V3 фірми Bosch, представленої на рис11:



**Рис.11. Схема регулятора напруги EE14V3 фірми BOSCH:**

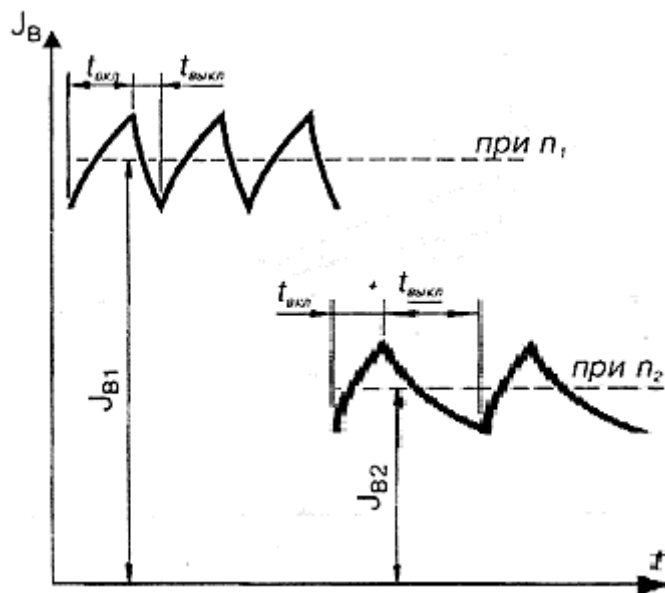
**1 - генератор, 2 - регулятор напруги, SA - замок запалювання, HL - контрольна лампа на панелі приладів.**

Щоб зрозуміти роботу схеми, слід згадати, що, стабілітрон не пропускає через себе струм при напрузі, нижче величини напруги стабілізації. При досягненні напругою цієї величини, стабілітрон "пробивається" і по ньому починає протікати струм. Таким чином, стабілітрон в регуляторі є еталоном напруги, з яким порівнюється напруга генератора після резистивного подільника. Крім того, відомо, що транзистори пропускають струм між колектором і емітером, тобто відкриті, якщо в ланцюзі "база - емітер" струм протікає, і не пропускають цього струму, тобто закриті, якщо базовий струм переривається. Напруга до стабілітрону VD2 підводиться від клеми генератора

"D +" через ділник напруги на резисторах R1 - R3 і діод VD1, який здійснює температурну компенсацію. Поки напруга генератора невелика і напруга на стабілітроні нижче його напруги стабілізації, стабілітрон закритий, через нього, а, отже, і в базовій ланцюга транзистора VT1 струм не протікає, транзистор VT1 також закритий. У цьому випадку струм через резистор R6 від клем "D +" надходить в базовий ланцюг транзистора VT2, який відкривається, через його перехід емітер - колектор починає протікати струм в базі транзистора VT3, який також відкривається. При цьому обмотка збудження генератора виявляється підключена до мережі живлення через перехід емітер - колектор VT3.

З'єднання транзисторів VT2 і VT3, при якому їх колекторні висновки об'єднані, а джерело живлення бази ланцюга одного транзистора проводиться від емітера іншого, називається схемою Дарлінгтона. При такому з'єднанні обидва транзистора можуть розглядатися як один складений транзистор з великим коефіцієнтом посилення. Зазвичай такий транзистор і виконується на одному кристалі кремнію. Якщо напруга генератора зросла, наприклад, через збільшення частоти обертання його ротора, то зростає і напруга на стабілітроні VD2, при досягненні цим напругою величини напруги стабілізації, стабілітрон VD2 "пробивається", струм через нього починає надходити в базову ланцюг транзистора VT1, який відкривається і своїм переходом емітер - колектор закорачує базу складеного транзистора VT2, VT3 на "масу". Складовий транзистор закривається, розриваючи ланцюг живлення обмотки збудження. Струм збудження починає протікати через діод VD3 і при цьому спадає, зменшується напруга генератора, закриваються стабілітрон VT2, транзистор VT1, відкривається складовою транзистор VT2, VT3, обмотка збудження знову включається в ланцюг живлення, напруга генератора зростає і процес повторюється. Таким чином регулювання напруги генератора регулятором здійснюється дискретно через зміну відносного часу включення обмотки збудження в ланцюг живлення. При цьому струм в обмотці збудження змінюється так, як показано на рис.12. Якщо частота обертання генератора

зросла або навантаження його зменшилася, час включення обмотки зменшується, якщо частота обертання зменшилася або навантаження зросло - збільшується. У схемі регулятора (див. рис.11) є елементи, характерні для схем усіх регуляторів напруги. Діод VD3 при закритті складеного транзистора VT2, VT3 запобігає небезпечні сплески напруги, що виникають із-за обриву ланцюга обмотки збудження зі значною індуктивністю при запиранні транзистора VT3. У цьому випадку струм обмотки збудження може замикатися через цей діод і небезпечних сплесків напруги не відбувається. Опір R7 є опором позитивного зворотного зв'язку.

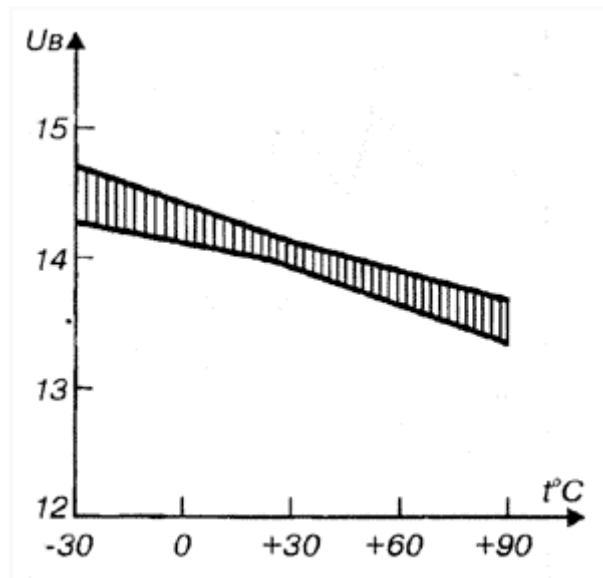


**Рис.12. Зміна сили струму в обмотці збудження  $J_B$  по часу  $t$  при роботі регулятора напруги:  $t_{\text{вкл}}$ ,  $t_{\text{выкл}}$  - відповідно час включення і виключення обмотки збудження регулятора напруги;  $n_1$   $n_2$  - частоти обертання ротора генератора, причому  $n_2$  більше  $n_1$ ;  $J_{B1}$  і  $J_{B2}$  - середні значення сили струму в обмотці збудження**

При відкритті складеного транзистора VT2, VT3 воно виявляється підключеним паралельно опору R3 дільника напруги, при цьому напруга на стабілітроні VT2 різко зменшується, це прискорює перемикання схеми

регулятора і підвищує частоту цього перемикання, що благотворно позначається на якості напруги генераторної установки. Конденсатор С1 є своєрідним фільтром, що захищає регулятор від впливу імпульсів напруги на його вході.

З рис.11 добре видна роль лампи НЛ контролю працездатного стану генераторної установки (лампа контролю заряду на панелі приладів автомобіля). При непрацюючому двигуні автомобіля замикання контактів вимикача запалювання SA дозволяє струму від акумуляторної батареї GA через цю лампу надходити в обмотку збудження генератора. Цим забезпечується початкове збудження генератора. Лампа при цьому горить, сигналізуючи, що в ланцюзі обмотки збудження немає обриву. Після запуску двигуна, на виводах генератора "D +" і "B +" з'являється практично однакові напруги, і лампа гасне. Якщо генератор при працюючому двигуні автомобіля не розвиває напруги, то лампа НЛ продовжує горіти і в цьому режимі, що є сигналом про відмову генератора або обриві приводного ремня. Введення резистора R в генераторну установку сприяє розширенню діагностичних здібностей лампи НЛ. При наявності цього резистора в разі обриву ланцюга обмотки збудження при працюючому двигуні автомобіля лампа НЛ загоряється. В даний час все більше фірм переходить на випуск генераторних установок без додаткового випрямляча для обмотки збудження. В цьому випадку в регулятор заводиться висновок фази генератора. При непрацюючому двигуні автомобіля, напруга на виводі фази генератора відсутня і регулятор напруги в цьому випадку переходить в режим, що перешкоджає розряду акумуляторної батареї на обмотку збудження. Наприклад, при включенні вимикача запалювання схема регулятора переводить його вихідний транзистор в коливальний режим, при якому струм в обмотці збудження невеликий і становить частки ампера. Після запуску двигуна сигнал з виведення фази генератора переводить схему регулятора в нормальний режим роботи. Схема регулятора здійснює в цьому випадку і управління лампою контролю працездатного стану генераторної установки.



**Рис.13. Температурна залежність напруги, підтримуваного регулятором EE14V3 фірми Bosch при частоті обертання 6000 хв-1 і силі струму навантаження 5А.**

Акумуляторна батарея для своєї надійної роботи вимагає, щоб з пониженням температури електроліту, напруга, що підводиться до батареї від генераторної установки, кілька підвищувався, а з підвищенням температури - зменшувалася. У разі регуляторів фірми Bosch, термокомпенсація в регуляторі підібрана за допомогою діода VD1 таким чином, що в залежності від температури вступника в генератор охолоджуючого повітря напруга генераторної установки змінюється в заданих межах.

На рис.13 показана температурна залежність напруги, підтримувана регулятором EE14V3 фірми Bosch в одному з робочих режимів. На графіку зазначено також поле допуску на величину цієї напруги. Падаючий характер залежності забезпечує хороший заряд акумуляторної батареї при мінусовій температурі і запобігання посиленого википання її електроліту при високій температурі. З цієї ж причини на автомобілях, призначених спеціально для

експлуатації в тропіках, встановлюють регулятори напруги налаштовані на свідомо більш низьку напругу, ніж для помірною і холодного клімату.

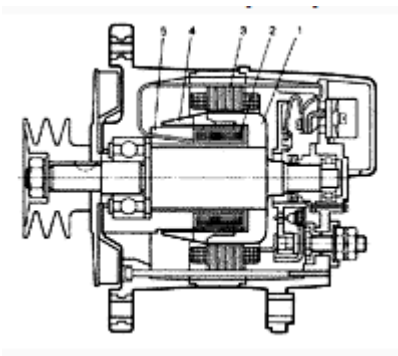
### **Робота генераторної установки на різних режимах**

При пуску двигуна основним споживачем електроенергії є стартер, сила струму досягає сотень ампер, що викликає значне падіння напруги на клеммах акумулятора. В цьому режимі споживачі електроенергії живляться тільки від акумулятора, який інтенсивно розряджається. Відразу після пуску двигуна генератор стає основним джерелом електропостачання. Він забезпечує необхідний струм для заряду акумулятора і роботи електроприладів. Після підзарядки акумулятора різниця його напруги і напруги генератора стає невеликою, що призводить до зниження зарядного струму. Джерелом електроживлення як і раніше є генератор, а акумулятор згладжує пульсації напруги генератора.

При включенні потужних споживачів електроенергії (наприклад, обігрівача заднього скла, фар, вентилятора обігрівача і т.п.) і невеликій частоті обертання ротора (малі обороти двигуна) сумарний споживаний струм може бути більше, ніж здатний віддати генератор. В цьому випадку навантаження ляже на акумулятор, і він почне розряджатися, що можна контролювати за показниками додаткового індикатора напруги або вольтметра.

### **Безщітковий генератор**

Безщіткові генератори застосовуються там, де виникають вимоги підвищеної надійності і довговічності, головним чином на магістральних тягачах, міжміських автобусах і т. п.



**Рис.14. Безщітковий генератор: 1,4 - полюсні половини,  
2 - обмотки збудження, 3 - статор 4 - магнітопровід  
обмотки збудження**

Підвищена надійність цих генераторів забезпечується тим, що у них відсутня щітково-контактний вузол, схильний до зносу і забруднення, а обмотка збудження нерухома. Недоліком генераторів цього типу є збільшені габарити і маса. Бесщеточні генератори виконуються з максимальним використанням конструктивної наступності зі щітковими. Найбільш поширена конструкція, бесщеточного автомобільного генератора, представлена на рис. 14. На випуску генераторів такого типу спеціалізується американська фірма Deico-Remy, що є відділенням General Motors. Відмінність цієї конструкції полягає в тому, що одна полюсообразную полюсна половина посажена на вал, як у звичайного щіткового генератора, а інша в урізаному вигляді приварюється до неї по дзьобам немагнітним матеріалом.

Каркас обмотки збудження поміщений на магнітопровід, закріплений на кришці генератора. Між цим магнітопроводом і полюсною системою є повітряний зазор. При обертанні вала сидить на ньому полюсна половина разом з привареною до неї інший полюсною половиною обертаються при нерухомій обмотці збудження. В принципі робота цього генератора аналогічна роботі генератора щіткового виконання. Французька фірма Sev Marchal один час випускала генератор "Фред" з укороченими полюсами. Полюсні половини



цього генератора розсунуті і дзьоби не перекривають один одного. В щілину між дзьобами проходять елементи кріплення обмотки збудження до статора, яка при цьому як би висить над втулкою ротора. Деякими американськими фірмами випускалися і індукторні вентильні генератори, але це тривало недовго так само, як і випуск італійською фірмою Ducati безщіткових генераторів з збудженням від постійних магнітів і керованим силовим випрямлячем на тиристорах.