

Лекція № 126

Тема: «Машини постійного струму спеціального призначення»

ПЛАН

1. Універсальні колекторні двигуни;
2. Безконтактний двигун постійного струму;
3. Тахогенератор постійного струму;
4. Виконавчі двигуни постійного струму;
5. Електромашинний підсилювач.

1. Універсальні колекторні двигуни

Універсальними називають колекторні двигуни, які можуть працювати як від мережі постійного, так і від мережі однофазного змінного струму.

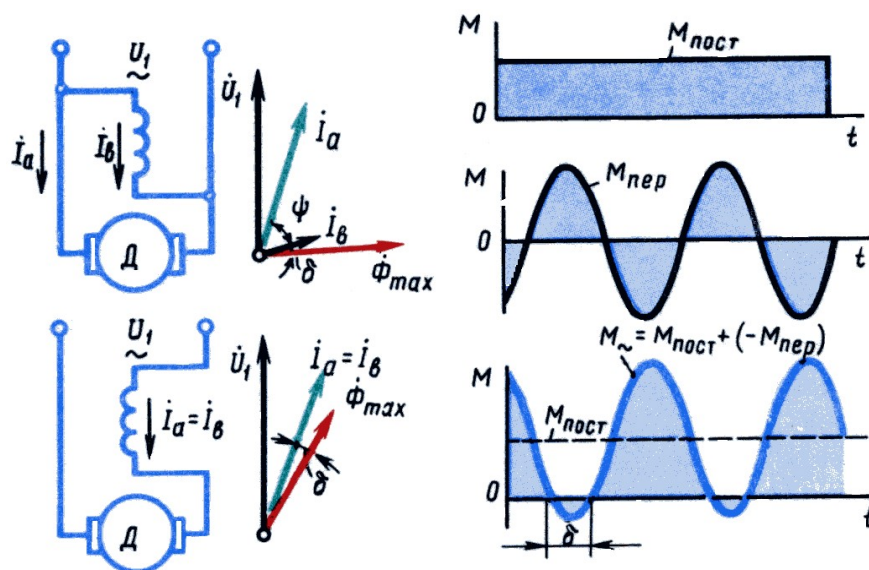
Колекторний двигун постійного струму в принципі може працювати від мережі змінного струму, оскільки при переході від позитивного півперіоду змінної напруги до негативного напрямок електромагнітного моменту лишається незмінним. Пояснюється це тим, що при переході до негативного напівперіоду майже одночасно зі зміною напрямку струму в обмотці якоря змінюється напрямок струму в обмотці збудження, отже - змінюється полярність полюсів.

Однофазні колекторні двигуни мають переважно послідовне збудження. Застосування паралельного збудження (мал. 29.14,) в даному випадку обмежується значною індуктивністю паралельної обмотки збудження, що має велике число витків. Це створює значний фазовий зсув між струмом якоря I_a і струмом збудження I_e на кут ψ (мал. 29.14, б). Середнє значення електромагнітного моменту в цьому випадку визначається виразом, що враховує кут зсуву між струмом якоря і магнітним потоком:

$$M_{нар} = c_M (\Phi_{max} / \sqrt{2}) I_a \cos(\psi + \delta), \quad (29.34)$$

де Φ_{max} - максимальне значення магнітного потоку; ψ - кут зсуву фаз між струмом якоря і струмом збудження; δ - кут зсуву фаз між струмом збудження і магнітним

поток, зумовлений наявністю магнітних втрат в машині $[(\psi + \delta) \approx 90^\circ$, а отже, $\cos(\psi + \delta) \approx 0]$.



Мал. 29.14. До принципу роботи універсального колекторного двигуна

У двигуні послідовного збудження (рис. 29.14, в) струм якоря I_a і струм збудження I_e збігаються за фазою: $\psi = 0$ (рис. 29.14, г). Тому середнє значення електромагнітного обертового моменту у двигуні послідовного збудження $M_{носл}$ більше, ніж у двигуні паралельного збудження:

$$M_{носл} = c_M (\Phi_{max} / \sqrt{2}) I_a \cos \delta. \quad (29.35)$$

Електромагнітний момент двигуна послідовного збудження при роботі від мережі змінного струму має постійну складову $M_{носл}$ (мал. 29.14, д) і змінну складову $M_{пер}$, що змінюється з частотою, рівною подвоєній частоті мережі f_l (мал. 29.14, е). Результуючий момент цього двигуна є пульсуючим $M_{\sim} = M_{носл}$ (мал. 29.14, ж): $M_{\sim} = M_{носл} + (-M_{пер})$. Невеликі ділянки графіка $M = f(t)$ з негативним (гальмівним) моментом зумовлені фазовим зсувом між векторами магнітного потоку Φ_{max} і струмом I_l (мал. 29.14, г). Пульсації моменту M_{\sim} практично не порушують роботу двигуна, включеного в мережу змінного струму, оскільки, згладжуються за рахунок моменту інерції якоря.

За своєю конструкцією універсальні колекторні двигуни відрізняються від двигунів постійного струму тим, що їх станина і головні полюси робляться шихтованими з листової електротехнічної сталі. Це дає можливість зменшити магнітні втрати, які при роботі двигуна від мережі змінного струму підвищуються,

оскільки, змінний струм в обмотці збудження викликає перемагнічування усього магнітного кола, включаючи станину і осердя полюсів.

Основний недолік однофазних колекторних двигунів - важкі умови комутації. Справа в тому, що в комутуючих секціях окрім реактивної ЕРС і ЕРС зовнішнього поля наводиться трансформаторна ЕРС e_{mp} , діюче значення якої:

$$E_{mp} = 4,4 f_1 w_c \Phi_{max} \cdot (29.36)$$

Ця ЕРС наводиться змінним магнітним потоком збудження, зчепленим з комутуючими секціями. Для зменшення трансформаторної ЕРС необхідно зменшити потік Φ_{max} , а щоб потужність двигуна при цьому залишилася колишньою, слід збільшити число полюсів в двигуні.

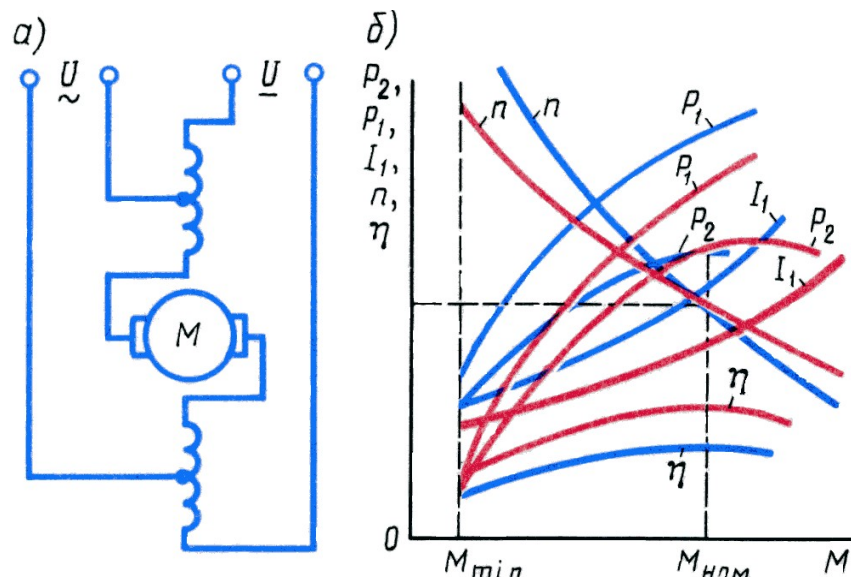
Застосування в обмотці якоря двигуна одновиткових секцій ($w_c = 1$) також сприяє обмеженню E_{mp} , але при цьому збільшується кількість пластин в колекторі, а отже, зростають його розміри. Застосування додаткових полюсів з обмоткою, включеною послідовно в коло якоря, дозволяє добитися повної взаємної компенсації трансформаторної ЕРС тільки при певних значеннях струму якоря і частоти обертів. При інших режимах роботи двигуна умови комутації залишаються важкими. Регулювання частоти обертів і реверсування однофазного колекторного двигуна здійснюються так само, як і в двигунах постійного струму послідовного збудження.

В універсальному колекторному двигуні прагнуть отримати приблизно однакові частоти обертання при номінальному навантаженні, як на постійному, так і на змінному струмі. Досягається це тим, що обмотку збудження двигуна виконують з відгалуженнями: при роботі двигуна від мережі постійного струму обмотка збудження використовується повністю, а при роботі від мережі змінного струму - частково (мал. 29.15.).

Розбіжності в характеристиках двигуна на постійному і змінному струмі пояснюються тим, що при роботі від мережі змінного струму на величину і фазу струму впливають індуктивні опори обмоток якоря і збудження.

Однак зменшення числа витків обмотки збудження забезпечує зближення характеристик лише при навантаженні, близькому до номінального. На мал. 29.15, б наведені робочі характеристики універсального колекторного двигуна типу УМТ-22

(55 Вт, 200 об/хв, 110/127 В) (синіми лініями при роботі двигуна від мережі змінного струму, а червоними – від мережі постійного струму).



Мал. 29.15. Схема з'єднань і робочі характеристики універсального колекторного двигуна

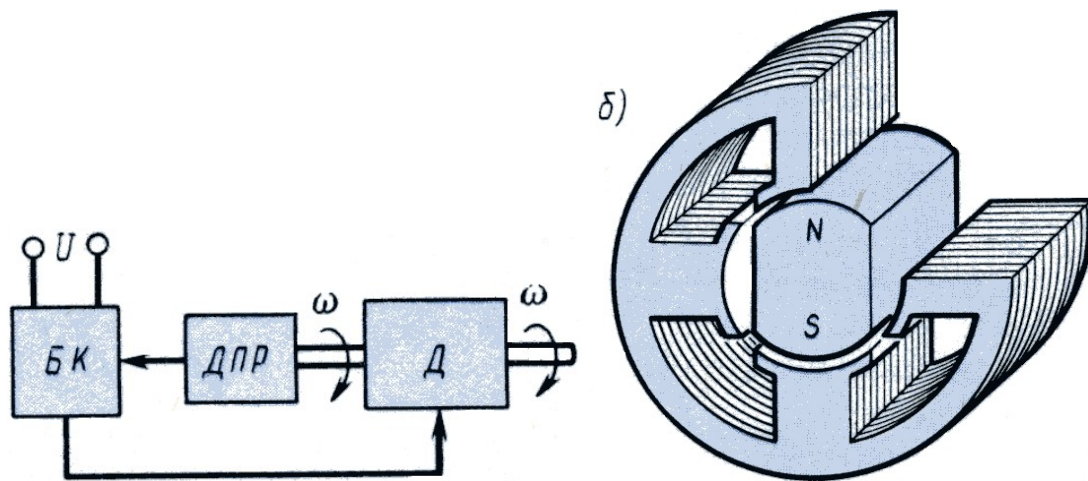
Споживаний двигуном струм при роботі від мережі змінного струму більший, ніж при роботі цього ж електродвигуна від мережі постійного струму, оскільки змінний струм окрім активної має ще й реактивну складову. Коефіцієнт корисної дії універсальних двигунів при змінному струмі нижче, ніж при постійному, що викликано підвищеними магнітними втратами. Області застосування універсальних колекторних двигунів досить широкі: їх застосовують в автоматиці, для приводу різного електроінструменту, побутових електроприладів та ін.

2. Безконтактні двигуни постійного струму (БДПС)

З метою поліпшення властивостей двигунів постійного струму були створені двигуни з безконтактним комутатором, що називаються безконтактними двигунами постійного струму (БДПС). Відмінність БДПС від колекторних двигунів традиційної конструкції полягає в тому, що у них щітково-колекторний вузол замінений напівпровідниковим комутатором (інвертором), керованим сигналами, які надходять із безконтактного датчика положення ротора. Робоча обмотка двигуна - обмотка якоря - розташована на осерді статора, а постійний магніт - на роторі.

Вал двигуна Д (мал. 30.4, а) механічно з'єднаний з датчиком положення ротора (ДПР), сигнал від якого надходить в блок комутатора (БК). Підключення секцій обмотки якоря до джерела постійного струму відбувається через елементи блоку

комутатора (БК). Призначення ДПР - видавати керуючий сигнал в блок комутатора відповідно до положення полюсів постійного магніту відносно секцій обмотки якоря.

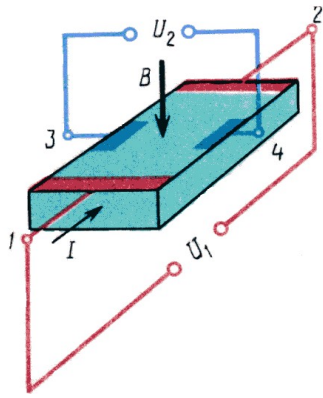


а) - блок-схема, б) - магнітна система

Мал. 30.4. Безконтактний двигун постійного струму

Як датчики положення ротора застосовують різні чутливі безконтактні елементи з мінімальними розмірами і споживаною потужністю і великою кратністю мінімального і максимального сигналів, щоб не викликати порушень в роботі блоку комутатора. Чутливі елементи ДПР повинні надійно працювати при зовнішніх впливах (температура, вологість, вібрації і т. п.), На які розрахований двигун. Такі властивості притаманні ряду чутливих елементів (датчиків): індуктивних, трансформаторних, магнітодіодів і т. п. Найбільш доцільно використовувати датчики ЕРС Холла (мал. 30.5), що є тонкою напівпровідниковою пластинкою з нанесеними на ній контактними площадками, до яких припаяні виводи 1 - 2, підключені до джерела напруги, і виводи 3-4, з яких знімають вихідний сигнал. Якщо в колі 1-2 проходить струм, а датчик знаходиться в магнітному полі, вектор індукції B якого перпендикулярний площині пластини датчика, то в датчику наводиться ЕРС і на виводах 3-4 з'являється напруга. Значення ЕРС залежить від струму і магнітної індукції B , а полярність - від напрямку струму в колі 1-2 і напрямку вектора магнітної індукції B .

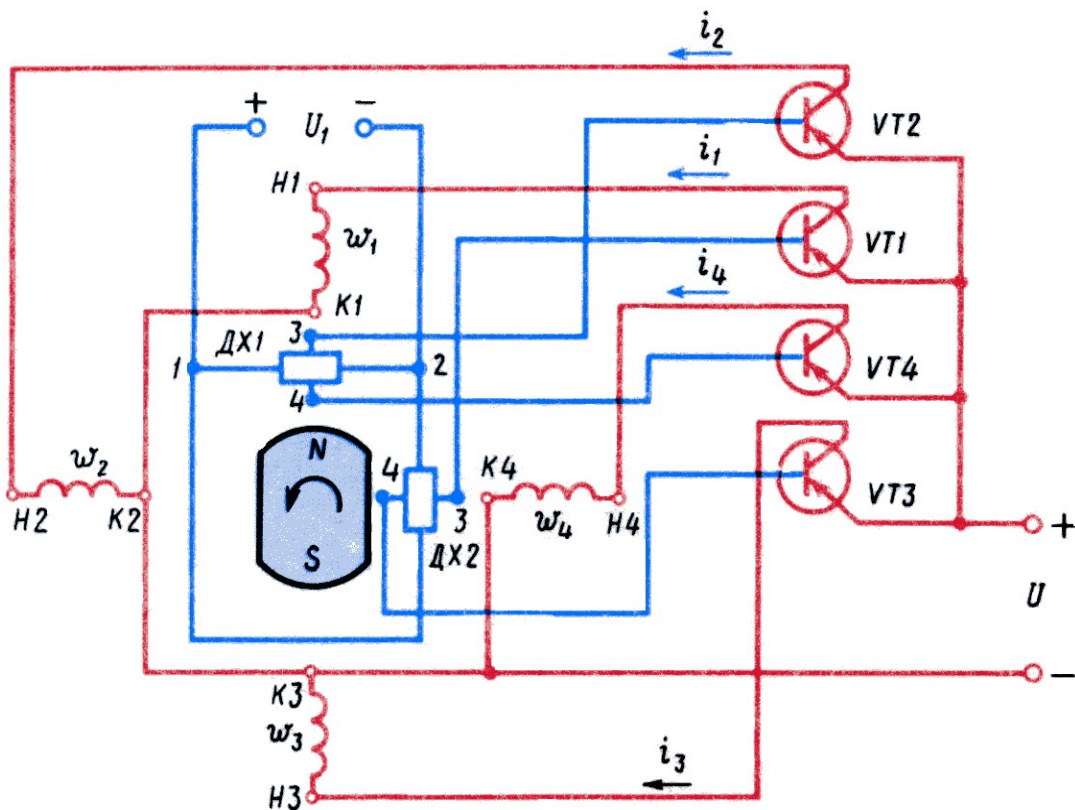
Розглянемо роботу безконтактного двигуна постійного струму, для управління яким застосовують датчики Холла і комутатор, виконаний на транзисторах VT1-VT4 (рис. 30.6).



Мал.30.5 Датчик ЕРС Холла

Чотири обмотки (фази) двигуна w_1-w_4 розміщені на явно виражених полюсах шихтованого осердя якоря (див. мал. 30.4, б). Датчики Холла ДХ1 і ДХ2 встановлені в пазах полюсних наконечників двох суміжних полюсів. Силові транзистори VT1-VT4 працюють в релейному (ключовому) режимі (мал. 30.6). Сигнал на відкриття транзистора надходить від відповідного датчика Холла (датчика положення ротора). Живлення датчиків Холла (виводи 1-2) здійснюється від джерела напругою U_1 .

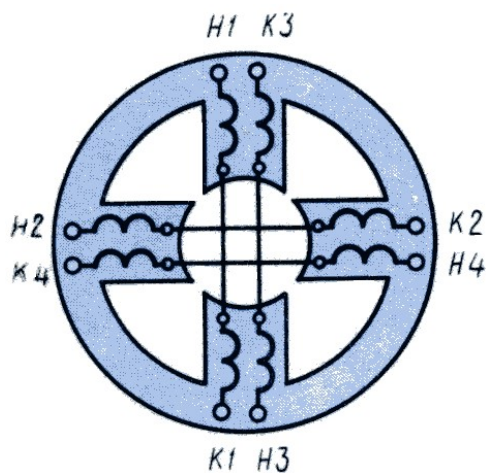
Кожна обмотка фази виконана з двох котушок, розташованих на протилежних полюсах осердя статора і з'єднаних послідовно. Якщо з якої-небудь з обмоток фази статора проходить струм від початку $H1-H4$ до кінця $K1-K4$, то полюси осердя статора набувають полярність відповідно S і N .



Мал.30.6

Принципова схема БДПС

При положенні ротора, показаному на мал., в зоні магнітного полюса N знаходиться датчик $ДХ1$. При цьому на виході датчика з'являється сигнал, при якому транзистор $VT2$ переходить у відкритий стан. В обмотці фази статора ω_2 з'являється струм i_2 , що протікає від $H2$ до $K2$.



Мал.30.7 Розташування обмоток фаз на

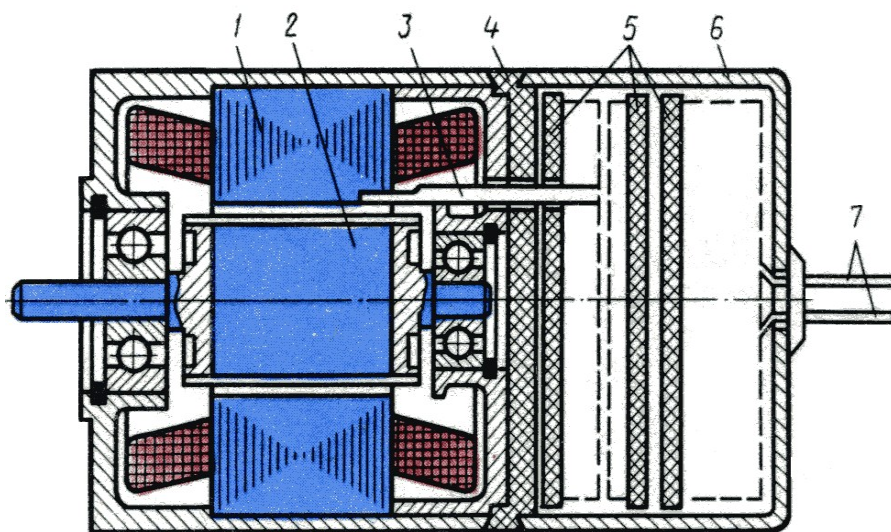
полюсах статора БДПС

При цьому полюси статора 2 і 4 набувають полярність S та N . У результаті взаємодії магнітних полів статора і ротора (постійного магніту) утворюється електромагнітний момент M , що обертає ротор. Після повороту ротора відносно осі полюсів статора 1-3 на деякий кут α проти годинникової стрілки датчик $ДХ2$ опиниться в зоні магнітного полюса ротора S , при цьому по сигналу з датчика $ДХ2$ включається транзистор $VT3$.

У фазній котушці ω_3 виникає струм i_3 і полюси 3 і 1 набувають полярність S і N . При цьому магнітний потік статора Φ створюється спільною дією МРС обмоток фаз ω_2 і ω_3 . Вектор цього потоку повернутий відносно осі 2-4 на кут 45° . Ротор, продовжуючи обертання, займає положення по осі полюсів статора 2-4. При цьому датчик $ДХ1$ потрапляє в між полюсний простір ротора, а датчик $ДХ2$ залишиться в зоні полюса S ротора. В результаті транзистор $VT2$ закривається, транзистор $VT3$ залишиться відкритим і магнітний потік Φ , створюваний МРС обмотки фази ω_3 , повертається відносно осі полюсів 2-4 ще на 45° . Після того як вісь обертового ротора перетне вісь полюсів статора 2-4, датчики $ДХ1$ і $ДХ2$ опиняться в зоні полюса ротора S , що призведе до включення транзисторів $VT3$ і $VT4$. Подальшу роботу елементів схеми БДПС до завершення вектором потоку Φ одного обороту простежимо за табл. 30.1 і мал. 30.8, а-з.

Датчики Холла 3 розміщені в спеціальних пазах полюсних наконечників 1 осердя статора. Постійний магніт 2 не має центрального отвору для посадки на вал, він закладається в тонкостінну гільзу, яка приварюється до фланців двох півосей.

Така конструкція ротора дозволяє уникнути виконання центрального отвору в постійному магніті, що часто є причиною браку (тріщини, відколи й т. п.). Блок комутатора (БК) розташований на панелях 5, відділений від двигуна перегородкою 4 і закритий металевим ковпаком 6, через який виведені дроти 7 для підключення двигуна до мережі постійного струму. Подібна конструкція застосована в БДПС корисною потужністю від 1 до 120 Вт.



Мал.30.9 Будова

БДПС

Зміна напрямку обертання (реверс) двигуна здійснюється зміною полярності напруги U_1 в колі струму датчиків Холла. Зміна полярності напруги U на вході двигуна неприпустима, оскільки при цьому припиняється робота блоку комутатора.

Коефіцієнт корисної дії БДПС порівняно з колекторними двигунами постійного струму вищий, що пояснюється відсутністю щітково-колекторного вузла, а значить, електричних втрат в щітковому контакті і механічних втрат в колекторі.

До переваг БДПС відносяться також висока надійність і довговічність, що пояснюється відсутністю у них щітково-колекторного вузла. Двигуни можуть працювати в умовах широкого діапазону температур навколишнього середовища, в вакуумі, в середовищах з великою вологістю і т. п., де застосування колекторних двигунів неприпустимо через непрацездатність щітково-колекторного вузла.

Недолік БДПС - підвищена вартість, зумовлена наявністю напівпровідникового блоку комутатора, чутливих елементів (датчиків ЕРС Холла) і постійного магніту.

3. Тахогенератор постійного струму

Тахогенератори постійного струму служать для вимірювання частоти обертання за значенням вихідної напруги, а також для отримання електричних сигналів, що пропорційні частоті обертання валу в схемах автоматичного регулювання. Тахогенератор постійного струму являє собою генератор малої потужності з електромагнітним незалежним збудженням (рис. 30.3, а) або зі збудженням постійними магнітами.

З огляду на те що при постійному струмі збудження $I_z = const$ магнітний потік Φ практично не залежить від навантаження, вихідна ЕРС $E_{вих}$ тахогенератора прямо пропорційна частоті обертання:

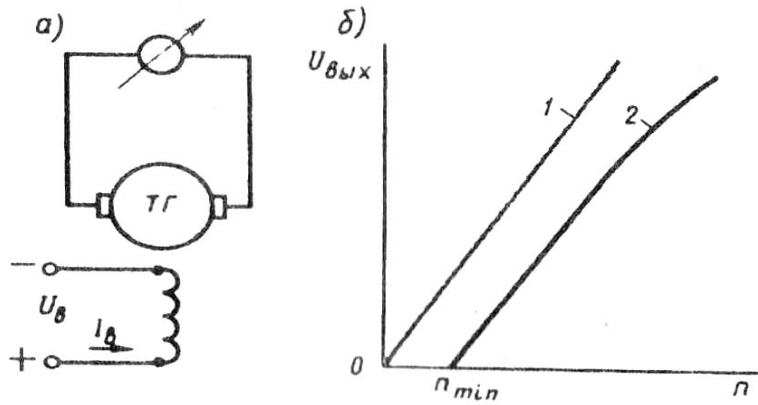
$$E_{вих} = c_e \Phi n = c'_e n$$

де $c'_e = c_e \Phi = const$.

Формула (30.5) справедлива і для тахогенератора зі збудженням постійними магнітами, де $\Phi = const$. Для вимірювання частоти обертання тахогенератором вал останнього механічно з'єднують з валом механізму, частоту обертання якого потрібно виміряти. До виводів тахогенератора підключають вимірювальний прилад зі шкалою, градуйованою в одиницях частоти обертання.

Точність роботи тахогенератора визначається його вихідною характеристикою, що є залежністю вихідної напруги від частоти обертання при незмінному значенні опору навантаження. Найточніша робота тахогенератора відповідає прямолінійній вихідній характеристиці (мал. 30.3, б, пряма 1).

Однак в реальних тахогенераторах вихідна характеристика не прямолінійна (графік 2) і до того ж вона виходить не з початку осей координат. Основна причина криволінійності характеристики - реакція якоря, тому зменшенню криволінійності цієї характеристики сприяє включення на вихід тахогенератора приладів з великим внутрішнім опором, оскільки при зменшенні струму якоря послаблюється дія реакції якоря. У сучасних тахогенераторах відхилення вихідної характеристики від прямолінійної становить від 0,5 до 3%.



Мал. 30.3. Принципова схема

а), вихідна характеристика б) тахогенератора постійного струму

Падіння напруги в щітковому контакті $\Delta U_{щ}$ створює в тахогенераторі зону нечутливості. Це діапазон частот обертання від 0 до n_{min} , в якому напруга на виході генератора дорівнює нулю. Межа зони нечутливості визначається виразом:

$$n_{min} = \Delta U_{щ} / (c_e \Phi)$$

Широке застосування отримали тахогенератори постійного струму, що збуджуються постійними магнітами. Ці тахогенератори не мають обмотки збудження, і тому вони простіші за конструкцією і мають менші габарити.

4. Виконавчі двигуни постійного струму

Виконавчі двигуни постійного струму, так само як виконавчі асинхронні двигуни, застосовуються в системах автоматики для перетворення електричного сигналу в механічне переміщення. Окрім звичайних вимог, що пред'являються до електродвигунів загального призначення, до виконавчих двигунів ставляться ряд специфічних вимог, з яких основними є відсутність самоходу і малоінерційність.

Майже всі виконавчі двигуни (виняток лише двигуни з постійними магнітами) мають дві обмотки. Одна з них постійно підключена до мережі і називається обмоткою збудження, на іншу - обмотку управління електричний сигнал подається лише тоді, коли необхідно створити обертання валу. Від напруги управління залежать частота обертання і обертовий момент виконавчого двигуна, а отже, і розвинута ним механічна потужність.

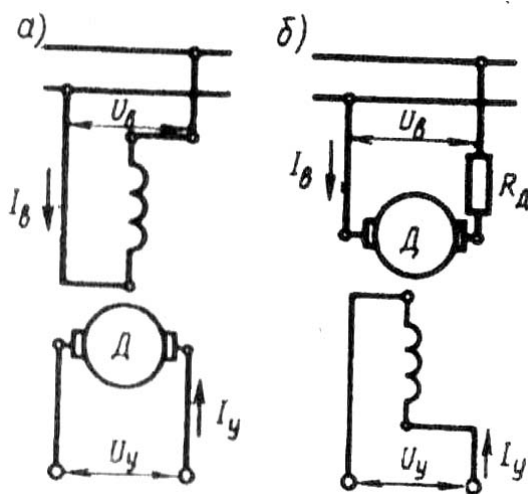
Виконавчі двигуни постійного струму по конструкції відрізняються від двигунів постійного струму загального призначення тільки тим, що мають шихтовані якір, станину і полюси, що необхідно для роботи виконавчих двигунів у

перехідних режимах. Магнітне коло виконавчих двигунів не насичене, тому реакція якоря практично не впливає на їхні робочі характеристики.

Як виконавчі двигуни постійного струму в даний час використовують найчастіше двигуни з незалежним збудженням, рідше - двигуни з постійними, магнітами. У двигунів з незалежним збудженням як обмотки управління використовують або обмотку якоря - двигуни з якірним управлінням, або обмотку полюсів - двигуни з полюсним управлінням.

У виконавчих двигунів з якірним керуванням обмоткою збудження є обмотка полюсів, а обмоткою управління - обмотка якоря (мал. 30.10, а). Обмотку збудження підключають до мережі з постійною напругою U_z на весь час роботи автоматичного пристрою. На обмотку керування подають сигнал (напруга керування) лише тоді, коли необхідно викликати обертання якоря двигуна. Від напруги керування залежать обертовий момент і частота обертання двигуна. При зміні полярності напруги керування змінюється напрямок обертання якоря двигуна.

У виконавчих двигунів з полюсним керуванням обмоткою керування є обмотка полюсів, а обмоткою збудження - обмотка якоря (мал. 30.10, б). Якір двигуна постійно підключений до мережі з напругою $U_z = const$. Для обмеження струму іноді послідовно з якорем включають додатковий (баластний) опір R_d . На обмотку полюсів напруга управління U_y , (сигнал) подають лише тоді, коли необхідно викликати обертання якоря.

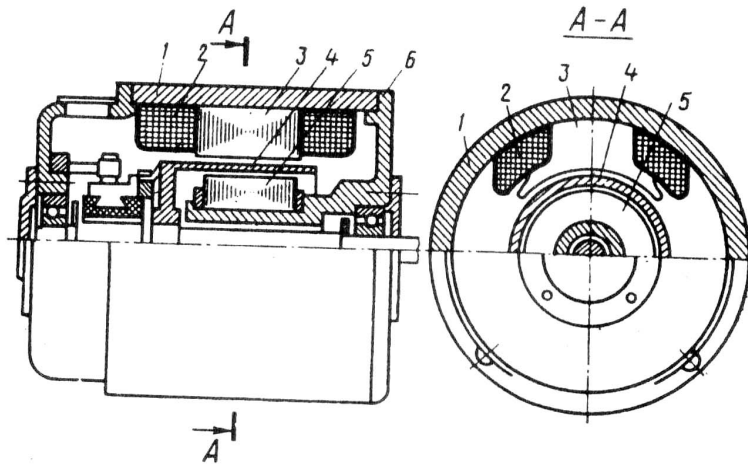


Мал. 30.10. Схема включення виконавчих

двигунів постійного струму

Виконавчі двигуни постійного струму звичайної конструкції мають істотний недолік - повільність перехідних процесів. Пояснюється це в основному двома

причинами: наявністю масивного якоря зі сталевим осердям, що має значний момент інерції, і значною індуктивністю обмотки якоря. Остання причина сприяє збільшенню електромагнітної постійної часу $T = L_a / \Sigma r$. Зазначені недоліки відсутні в двигунах із гладким (порожнистим) якорем (мал. 30.11). Станина 1 і полюси 3 цього двигуна звичайні. Збудження двигуна здійснюється або за допомогою обмотки збудження 2, або постійними магнітами.



Мал. 30.11. Малоінерційний

виконавчий двигун постійного струму з порожнистим якорем

Для зменшення моменту інерції якоря його обмотка відокремлена від масивного феромагнітного осердя, останній виконаний нерухомим (внутрішній статор 5) і розташований на циліндричному виступі підшипникового щита 6.

Обмотка якоря в процесі виготовлення укладається на циліндричний каркас, а потім заливається пластмасою. Готовий якір 4 являє собою порожнистий стакан, що складається з провідників обмотки, пов'язаних воедино пластмасою. Кінці секцій обмотки, як і в звичайному двигуні, з'єднуються з пластинами колектора, який є частиною дна порожнистого стакана якоря 4. Обертовий вузол двигуна з гладким якорем складається з вала, колектора і обмотки якоря, залитої пластмасою.

Момент інерції порожнистого якоря значно менший від моменту інерції звичайного якоря, що забезпечує гарну швидкодію двигуна. Крім того, індуктивність обмотки якоря знижується, що також сприяє підвищенню швидкодії двигуна. До того ж зниження індуктивності обмотки покращує комутацію двигуна за рахунок зменшення реактивної ЕРС.

Недолік розглянутого мало інерційного двигуна з порожнистим якорем - наявність великого немагнітного проміжку між полюсами статора і нерухомим

ферромагнітним осердям - внутрішнім статором. Цей проміжок складається з двох повітряних зазорів і товщини стакана якоря (товщини шару обмотки якоря). Наявність великого немагнітного проміжку на шляху магнітного потоку вимагає значного збільшення МРС збудження, що призводить, по-перше, до збільшення габаритів двигуна через збільшення об'єму обмотки збудження, а по-друге, до зростання втрат на нагрівання обмотки збудження. Однак ККД двигуна з порожнистим якорем внаслідок відсутності втрат в сталі осердя якоря практично знаходиться на тому ж рівні, що і в звичайних двигунах, а в разі застосування для збудження постійних магнітів значно перевершує ККД останніх.

5. Електромашинний підсилювач

Електромашинний підсилювач (ЕМП) являє собою електричну машину, що працює в генераторному режимі і призначену для посилення електричних сигналів. Електромашинні підсилювачі застосовуються в системах автоматики. Найпростіший ЕМП - це генератор постійного струму незалежного збудження. Оскільки як напруга на виході генератора залежить від струму збудження, то змінюючи струм збудження, можна керувати напругою на виході генератора. Отже, порівняно невеликою потужністю в колі обмотки збудження можна управляти значною потужністю в колі якоря.

Електромашинні підсилювачі, виконані за принципом генератора незалежного збудження, не знайшли широкого застосування, оскільки вони не можуть забезпечити достатньо великого коефіцієнта підсилення за проектною потужністю (не більше 80-100), що являє собою відношення потужності на виході підсилювача до потужності на вході обмотки управління.

Найбільше поширення в автоматичі отримали електромашинні підсилювачі поперечного поля. На відміну від звичайного генератора постійного струму в цьому ЕМП основним робочим потоком є магнітний потік, створюваний струмом обмотки якоря, - поперечний потік реакції якоря (див. мал. 26.4, б).

На колекторі ЕМП встановлено два комплекти щіток: один комплект q_1q_2 - (мал. 30.1, а) - розміщений на поперечній осі головних полюсів, отже на

геометричній нейтралі, а інший d_1d_2 - на поздовжній осі головних полюсів. Щітки q_1q_2 замкнуті накоротко, а до щіток d_1d_2 підключене робоче коло ЕМП.

Підсилювач має одну або кілька обмоток управління ($y_1; y_2$), компенсаційну обмотку (ОК), поперечну підмагнічуючу обмотку (ОП) і обмотку додаткових полюсів (ОД). Якір підсилювача приводиться в обертання електродвигуном.

Якщо до однієї з обмоток управління підвести напругу U_y , то в цій обмотці з'явиться струм управління I_y , який створює МРС обмотки управління $F_y = I_y w_y$. Ця МРС, в свою чергу, створює магнітний потік Φ_y , який наведе в обмотці якоря в колі щіток q_1q_2 ЕРС E_q . Електрорушійна сила E_q невелика, але оскільки щітки q_1q_2 замкнуті накоротко, то ЕРС E_q викличе значний струм I_q . Струм в обмотці якоря I_q створить МРС F_q і магнітний потік Φ_q , який направлений по поперечній осі головних полюсів, отже по геометричній нейтралі, і нерухомий у просторі. У обмотці якоря, що обертається в нерухомому потоці Φ_q , наводиться ЕРС E_q , що знімається з повздовжніх щіток d_1d_2 .

Якщо до вихідних затискачів ЕМП підключити навантаження r_n , то ЕРС E_d створить в колі щіток d_1d_2 робочий струм I_d .

Таким чином, невелика потужність обмотки управління проходить два ступені підсилення: спочатку ця потужність підсилюється на ступені «коло керування - поперечне коло», а потім на ступені «поперечне коло - поздовжнє (робоче) коло».

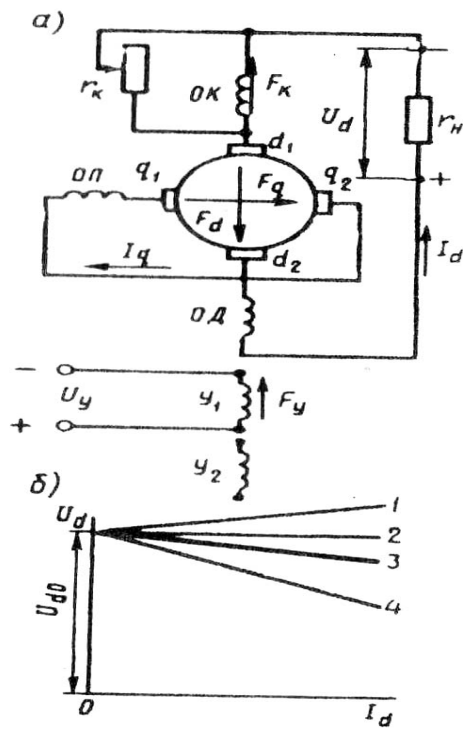
Підсилення потужності на кожній ступені характеризується коефіцієнтом підсилення, який на ступені «коло керування - поперечне коло» визначається відношенням потужності в поперечному колі $P_q = E_q I_q$ до потужності управління $P_y = E_y I_y$:

$$k_{y1} = P_q / P_y.$$

Коефіцієнт підсилення на ступені «поперечне коло - поздовжнє (робоче) коло» визначається відношенням потужностей в цих колах:

$$k_{y2} = P_d / P_q.$$

де $P_d = U_d I_d$ - потужність в робочому колі підсилювача, отже у колі щіток d_1d_2 .



а) - принципова схема; б) - зовнішні

характеристики Мал. 30.1 ЕМП поперечного поля

Загальний коефіцієнт посилення ЕМП дорівнює добутку часткових коефіцієнтів посилення:

$$k_y = k_{y1}k_{y2} = (P_q / P_y)(P_d / P_q) = P_d / P_y$$

Коефіцієнт підсилення ЕМП може досягати 2000-20 000.

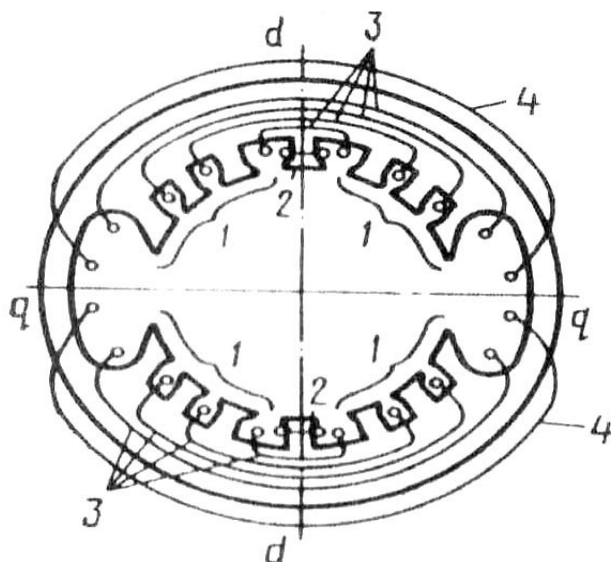
Слід пам'ятати, що потужність на виході ЕМП P_d є перетвореною механічною потужністю приводного електродвигуна. Значення цієї потужності, яке може сягати понад 20 кВт, управляється невеликою потужністю управління (зазвичай 0,1-1,0 Вт).

Обмотка додаткових полюсів (ОД) служить для поліпшення комутації на поздовжніх щітках d_1d_2 . Поперечна підмагнічуюча обмотка (ОП) підсилює магнітний потік по поперечній осі, що дозволяє зменшити струм в колі щіток q_1q_2 , отже, поліпшити комутацію на цих щітках (в ЕМП малої потужності ця обмотка відсутня).

Компенсаційна обмотка (ОК), наявність якої в ЕМП обов'язкова, усуває розмагнічуючий вплив реакції якоря по поздовжній осі. Справа в тому, що струм робочого кола ЕМП (струм навантаження) I_d створює МРС F_d по поздовжній осі, що спрямована назустріч МРС обмотки управління F_y . Ця МРС набагато менша МРС F_d , тому навіть при невеликому навантаженні підсилувача розмагнічуючий вплив реакції якоря по поздовжній осі настільки великий, що підсилувач розмагнічується і

напруга на його виводах падає до нуля. Для усунення цього явища на статорі ЕМП розташовують компенсаційну обмотку, включену послідовно в робоче коло якоря. З появою струму I_d в робочому колі виникає МРС компенсаційної обмотки F_k , що направлена по поздовжній осі зустрічно МРС реакції якоря F_d . Цим усувається (компенсується) розмагнічуючий вплив реакції якоря по поздовжній осі. Для повної компенсації необхідно, щоб МРС F_d і F_k були рівними, оскільки недокомпенсація ($F_k < F_d$) або перекомпенсація ($F_k > F_d$) значно впливає на магнітний потік Φ_y , а отже, і на властивості ЕМП. Однак розрахувати компенсаційну обмотку з необхідною точністю практично неможливо, що веде до необхідності дослідного налаштування необхідного значення МРС F_k за допомогою реостата r_k , що шунтує компенсаційну обмотку.

Електромашинні підсилювачі поперечного поля виконують двополюсними, при цьому кожен з головних полюсів розщеплюють на дві частини 1, між якими розташовують додаткові полюси 2 (мал. 30.2). Обмотки управління 4 виконують зосередженими в вигляді полюсних котушок, одягнутих на головні полюси, що ж стосується компенсаційної обмотки 3, то її роблять розподіленою, використовуючи для цього пази в полюсних наконечниках головних полюсів. Цим досягається компенсація поздовжньої реакції якоря по всьому периметру статора.



Мал. 30.2. Розташування обмоток

ЕМП на статорі

При потужності до декількох кіловат ЕМП виконують в загальному корпусі з приводним двигуном постійного або змінного струму. При значній потужності ЕМП і двигун виконують окремо і монтують на загальній рамі.

Робочі властивості ЕМП в значній мірі визначаються його зовнішньою характеристикою $U_d = f(I_d)$ при $n = const$ і $I_y = const$. Напряга на виході підсилювача:

$$U_d = E_d - I_d \Sigma r_d$$

де Σr_d - сума електричних опорів в поздовжньому колі якоря, Ом, що включає в себе опір обмотки якоря r_a , додаткових полюсів r_d , компенсаційної обмотки r_k і щіткового контакту $r_{щ}$.

З огляду на те, що магнітне коло підсилювач не насичене, напряга U_d є лінійною функцією струму навантаження I_d , отже зовнішня характеристика ЕМП є практично прямою лінією (мал. 30.1, б).

Кут нахилу зовнішньої характеристики до осі абсцис (жорсткість характеристики) залежить від ступеня компенсації реакції якоря. При повній компенсації МРС компенсаційної обмотки F_k дорівнює МРС реакції якоря по поздовжній осі F_d . У цьому випадку зовнішня характеристика виходить досить жорсткою (крива 3), оскільки зменшення напруги U_d при збільшенні струму навантаження I_d відбувається лише за рахунок збільшення падіння напруги в колі якоря по поздовжній осі $I_d \Sigma r_d$.

При недокомпенсації $F_k < F_d$ зовнішня характеристика виходить менш жорсткою (крива 4). Пояснюється це тим, що при недокомпенсації МРС F_d , зростаючи зі збільшенням струму I_d , значно послаблює магнітний потік обмотки управління Φ_y , що веде до помітного зменшення напруги на виході ЕМП.

Якщо в підсилювачі налаштувати невелику перекомпенсацію ($F_k > F_d$) так, щоб МДС F_k повністю компенсувала не тільки реакцію якоря по поздовжній осі F_d , але і падіння напруги $I_d \Sigma r_d$, то зовнішня характеристика підсилювача стає абсолютно жорсткою і розташовується паралельно осі абсцис (крива 2). У цьому випадку напряга на виході ЕМП залишається незмінною в усьому діапазоні зміни навантаження.

При значній перекомпенсації зовнішня характеристика (крива 1) набуває висхідний характер, оскільки МДС F_k не тільки компенсує F_d , а й створює додатковий поздовжній потік, який, накладаючись на магнітний потік управління Φ_y , викликає збільшення ЕРС E_d . Робота підсилювача з перекомпенсацією стає

нестійкою, тому що виникає небезпека довільного самозбудження ЕМП, при якому збільшення напруги на виході підсилювача викликає зростання струму навантаження, що веде до подальшого збільшення напруги, отже відбувається необмежене збільшення струму навантаження. Звичайно в підсилювачі налаштовують невелику недокомпенсацію, при якій збільшення напруги U_d при зменшенні струму I_d від номінального до нуля становило б 12-20 %.

Контрольні запитання:

1. Яке призначення компенсаційної обмотки в ЕМУ?
2. Чому вихідна характеристика тахогенератора криволінійна?
3. Чи буде працювати БДПС, якщо змінити полярність напруги на його вході?
4. Поясніть принцип якірного і полюсного способів управління виконавчими двигунами?
5. Які переваги і недоліки мало інерційного двигуна постійного струму?