

ЛАБОРАТОРНО УПРАЖНЕНИЕ № 11

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ДВИГАТЕЛ ЗА ПОСТОЯНЕН ТОК

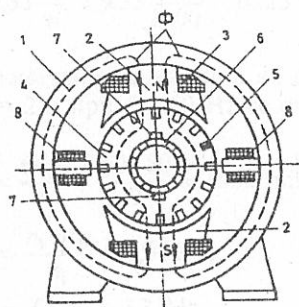
ЦЕЛ НА УПРАЖНЕНИЕТО

1. Запознаване с конструкцията и принципа на действие на двигателите за постоянен ток.
2. Усвояване на процесите пускане, спиране, регулиране на ъгловата скорост и реверсиране.
3. Снемане на основните характеристики на двигател за постоянен ток.
4. Придобиване на практически навици за работа с двигатели за постоянен ток.

ТЕОРЕТИЧНА ПОСТАНОВКА

Двигателите за постоянен ток преобразуват електрическата енергия на постоянния ток в механична енергия. Основни конструктивни елементи на машините за постоянен ток са индукторът и котвата (фиг. 11.1). Индукторът е неподвижната част (статорът) на машината. Той създава магнитното поле. Състои се от четен брой електромагнитни 2, оформени като полюси и закрепени към тялото 1 на машината,

което служи и за магнитопровод. Бобините 3 на полюсите се свързват последователно (така, че да се получи редуване на полюсите) и образуват възбудителната намотка на машината. През нея тече възбудителния ток I_n , чието м.д.н. създава основния магнитен поток Φ . Котвата е подвижната част (роторът) на машината. Състои се от цилиндрично ядро 4 и котвена намотка 5. Ядрото е набрано от листова електротехническа стомана за намаляване на вихровите токове, а по повърхността му има канали, в които е поставена котвената намотка. Колекторът 6 представлява кух цилиндър, набран от радиално разположени медни пластини, които са изолирани както помежду си, така и от вала, върху който е монтиран колекторът.



Фиг. 11.1

вената намотка. Колекторът 6 представлява кух цилиндър, набран от радиално разположени медни пластини, които са изолирани както помежду си, така и от вала, върху който е монтиран колекторът.

Пластините имат връзка с проводниците на котвената намотка. До колектора допират неподвижни четки 7. Допълнителните полюси 8 са предназначени за подобряване на комутацията. В зависимост от начина на хранване или от начина на свързване на възбудителната намотка (или на възбудителните намотки) спрямо котвената намотка, двигателите за постоянен ток биват с независимо, с паралелно, с последователно и със смесено възбуждане.

Работата на двигателите за постоянен ток се основава на силовото взаимодействие между магнитно поле и електрически ток. При хранване на двигателя през котвената намотка тече котвеният ток I_a , а през възбудителната намотка - възбудителният ток I_n , който създава магнитното поле (магнитния поток Φ) на машината. От взаимодействието на това поле и котвения ток възниква електромагнитна сила, чийто момент върти ротора. Този момент се определя с израз:

$$(11.1) \quad M = c \cdot \Phi \cdot I_a,$$

където c е коефициент, зависещ от конструкцията на машината. За да не се изменя посоката на момента, когато проводниците на котвената намотка преминават от един под друг полюс, е необходимо да се променя посоката на тока в тях. Предназначението на колектора при двигателен режим е да преобразува постоянния (във външната верига) ток в променлив (в котвената намотка), за да се получава постоянен по посока момент.

При въртене на ротора с ъглова скорост Ω , котвената намотка пресича магнитните линии на полето и в нея се индутира протво - е.д.н.

$$(11.2) \quad E = c \cdot \Phi \cdot \Omega,$$

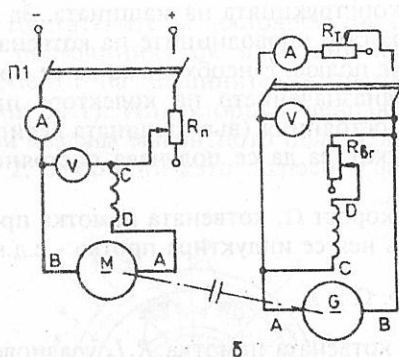
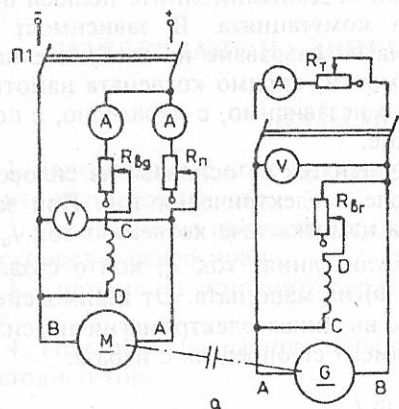
което заедно с напрежителния пад в котвената намотка $R_a I_a$ уравновесява хранващото напрежение:

$$(11.3) \quad U = E + R_a I_a = c \cdot \Phi \cdot \Omega + R_a I_a,$$

а котвеният ток е

$$(11.4) \quad I_a = \frac{U - E}{R_a}.$$

Когато двигателят се пуска в движение, противо-е.д.н. $E = 0$, защото $\Omega = 0$. Затова пусковият ток $I_n = \frac{U}{R_a}$ е много голям ($I_n = 10+30 I_n$) и е опасен за двигателя. Ето защо последователно в котвената верига се включва пусков реостат R_n (фиг. 11.2), с който пусковият ток



Фиг. 11.2

се ограничава до безопасна стойност $I_n = \frac{U}{R_a + R_n}$. След

включването на двигателя пусковият реостат постепенно се изключва. За да се получи голям пусков момент $M = c \cdot \Phi \cdot I_a$ и противо-е.д.н. $E = c \cdot \Phi \cdot \Omega$, е необходимо пускането да става при максимален магнитен поток (т.е. при максимален I_n). Затова пускането се осъществява при изключен възбудителен реостат R_n .

Пусковият ток $I_n = \frac{U}{R_a}$ мо-

же да са намали и чрез пускане при понижено напрежение U , ако има такава възможност.

При пускането на двигателя с независимо възбуждане най-напред се включва възбудителната, а след това котвената верига. Спирането става в обратен ред - най-напред се изключва котвената, а след това възбудителната верига.

От (11.3), когато последователно в котвената верига е включен регулиращ реостат R_p , се получава

$$(11.5) \quad \Omega = \frac{U - (R_a + R_p) \cdot I_a}{c \cdot \Phi}$$

Изразът (11.5) показва, че ъгловата скорост Ω може да се регулира по три начина:

1. Чрез изменение на напрежението U . Използва се при двигатели с независимо възбуждане.
2. Чрез изменение на магнитния поток Φ . Осъществява се чрез изменение на възбудителния ток I_n , посредством реостат, включен пос-

ледователно във възбудителната верига при двигателите с независимо и с паралелно възбуждане, и с реостат, включен паралелно на възбудителната или на котвената верига, при двигателите с последователно възбуждане.

3. Чрез регулиращия реостат R_p в котвената верига. В случая регулирането е съпроводено с големи загуби в този реостат.

Възможността за плавно и икономично регулиране на ъгловата скорост в широки граници е основно предимство на двигателите за постоянен ток. Най-големи възможности в това отношение имат двигателите с независимо възбуждане.

Характерно за двигателя с последователно възбуждане е, че той не може да се пуска и да работи на празен ход или с малък товар. При него $I_n = I_a$, защото възбудителната и котвената намотка са свързани последователно. При празен ход $I_n = I_a \approx 0$, $\Phi \approx 0$ и съгласно (11.5) ъгловата скорост достига опасни стойности ($\Omega \approx \infty$). Препоръчва се товарът му да не пада под $P_2 = 0,25 P_{2n}$.

Реверсиране (обръщане на посоката на въртене) на двигателите за постоянен ток се осъществява чрез смяна на посоката на котвения или на възбудителния ток, което съгласно (11.1) води до смяна на посоката на момента.

За свойствата на двигателя се съди по неговите характеристики.

1. Работни характеристики: скоростна характеристика $\Omega = f(P_2)$ или $n = f(P_2)$, моментна характеристика $M = f(P_2)$, характеристика на к.п.д. $\eta = f(P_2)$. Снемат се при $U = \text{const}$ и при постоянно съпротивление на възбудителната и на котвената верига. С P_2 е означена полезната мощност на двигателя, с n - честотата на въртене, а с η - к.п.д. на двигателя.

2. Механична характеристика $\Omega = f(M)$ или $n = f(M)$. При $U = U_n$, $\Phi = \Phi_n$ и $R_p = 0$ се получава естествената механична характеристика. Ако не е изпълнено някое от тези условия, механичната характеристика е изкуствена.

3. Регулираща характеристика $\Omega = f(I_n)$ или $n = f(I_n)$ при $U = \text{const}$ и при неизменен товар.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ

Предвижда се да се изследва двигател с паралелно възбуждане (фиг. 11.2а) и двигател с последователно възбуждане (фиг. 11.2б). Всяка постановка включва изследвания двигател, генератор за постоянен ток, чрез който двигателят се натоварва, реостати за натоварване на генератора, за регулиране на възбудителните токове на генератора и на двигателя с паралелно възбуждане, измервателни уреди за измерва-

не на съответните величини. Честотата на въртене се измерва посредством постояннотоков тахогенератор и волтметър, градуиран в min^{-1} . Ако е целесъобразно да се изследва двигател с независимо възбуждане, двигателят с паралелно възбуждане се преобразува в такъв с независимо възбуждане, като се прекъснат връзките между котвената и възбудителната му верига и последната се захрани от независим източник с подходящо напрежение.

Двигателят се изследва в следния ред:

1. Прави се външен оглед на двигателя и се записват паспортните му данни.

2. Реализира се съответната схема от фиг. 11.2.

3. Осъществява се пускането на двигателя. При двигател с паралелно възбуждане (фиг. 11.2а) включването към мрежата става при напълно включен пусков реостат R_n и напълно изключен възбудителен реостат $R_{вб}$. Двигателят с последователно възбуждане (фиг. 11.2б) се включва към мрежата предварително натоварен с товар не по-малък от 25% от номиналния, при напълно включен пусков реостат R_n . След включването пусковият реостат постепенно се изключва. Ако захранването позволява, двигателят се пуска при понижено напрежение. В този случай пусков реостат не е необходим.

4. Снемат се работните характеристики Ω , M и $\eta = f(P_2)$, и естествената механична характеристика $\Omega = f(M)$. За двигателя с паралелно възбуждане това става при $U = U_n = \text{const}$ и $I_a = I_{ам} = \text{const}$. За двигателя с последователно възбуждане се спазва условието $U = U_n = \text{const}$.

Двигателят се натоварва чрез натоварване на генератора /увеличава се I_g чрез R_g при $U_g = \text{const}$, така че котвеният ток на двигателя $I_{вк}$ да получава нарастващи стойности до достигане на номиналния ток $I_{ам}$. При двигател с последователно възбуждане се започва с товар не по-малък от 25% от номиналния ($I = 0,25 I_{ам}$). Измерват се и си изчисляват величините, определящи работните характеристики и естествената механична характеристика. Резултатите се нанасят в табл. 11.1, която е подходяща за изследването на двигател с паралелно възбуждане. При двигател с последователно възбуждане отпада колоната $I_{вк}$.

Таблица 11.1

№	Измерени величини						Изчислени величини				
	U_g	I_g	U_a	I_a	$I_{вк}$	n	P_1	P_2	η	M	Ω
	V	A	V	A	A	min^{-1}	W	W	-	N.m	rad.s^{-1}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

5. Снема се регулиращата характеристика на двигател с паралелно възбуждане $\Omega = f(I_a)$ или $n = f(I_a)$ при $U = U_n = \text{const}$. При празен ход на генератора чрез реостата $R_{вб}$ възбудителната верига се задават различни стойности на възбудителния ток от $I_{ам}$ до $0,5 I_{ам}$ и се измерва честотата на въртене n . Данните се нанасят в табл. 11.2. По тях се строи регулиращата характеристика.

Таблица 11.2

№	I_a	n
	A	min^{-1}

6. Спира се двигателят, като се изключи от мрежата.

7. Осъществява се реверсиране на двигателя. За целта, след спиране на двигателя се сменя посоката на тока в котвената или във възбудителната намотка чрез превключването ѝ. Пуска се отново двигателят при прекъсната възбудителна верига на генератора и се проверява посоката на въртене.

ОБРАБОТКА НА ОПИТНИТЕ РЕЗУЛТАТИ

1. Мощността, която двигателят получава от мрежата, е:

а) за двигател с паралелно възбуждане $P_1 = U_d I_{ад} + U_{вд} I_{вд}$, W;

б) за двигател с последователно възбуждане $P_1 = U_d I_d$, W;

2. Полезната мощност на двигателя е:

$$P_2 = P_1 + p_{зг} = U_g I_g + R_{аг} I_g^2 + p_{ог}, \text{ W}$$

където $p_{зг} = R_{аг} I_g^2 + p_{ог}$ са загубите в генератора, състоящи се от загуби в котвената намотка $R_{аг} I_g^2$ и загуби на празен ход $p_{ог} = p_{мех} + p_{ст}$ ($p_{мех}$ - механични загуби, $p_{ст}$ - загуби в стоманата), като $R_{аг}$ и $p_{ог}$ се задават.

При изследване на двигател с последователно възбуждане се ползват предварително определени и зададени в табличен вид стойности на $p_{мех}$ и $p_{ст}$ в зависимост от честотата на въртене.

При известен к.п.д. на генератора η_g , P_2 се определя по формулата

$$P_2 = \frac{P_1}{\eta_g} = \frac{U_g I_g}{\eta_g}, \text{ W.}$$

3. К.п.д. на двигателя е: $\eta_d = \frac{P_2}{P_1}$.

4. Моментът на двигателя е $M = 9,55 \frac{P_2}{n}$, Nm (P_2 , W; n , min^{-1}).

5. Ъгловата скорост е $\Omega = \frac{2\pi n}{60}$, rad.s^{-1} (n , min^{-1}).

6. По получените данни се построяват, както следва:

а) Работните характеристики $\Omega = f(P_2)$, $M = f(P_2)$ и $\eta = f(P_2)$.

б) Естествената механична характеристика.

в) Регулиращата характеристика $\Omega = f(I_a)$, за двигателя с паралелно възбуждане.

7. Анализират се построените характеристики и се правят съответни изводи.

Контролни въпроси

1. Какво е устройството и какъв е принципът на действие на двигателите за постоянен ток?

2. Какви видове двигатели за постоянен ток познавате?

3. Как се пускат и спират двигателите за постоянен ток?

4. Как се регулира ъгловата скорост?

5. Как се осъществява реверсиране на двигателите за постоянен ток?

6. Какво е различието в скоростните /съответно механичните/ характеристики на двигателите с различен тип възбуждане?

7. Какво е различието в моментните характеристики на двигателите с различен тип възбуждане?

8. Какви области на приложение определят характеристиките на двигателите за постоянен ток с различен тип възбуждане?

ЛАБОРАТОРНО УПРАЖНЕНИЕ № 12

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ГЕНЕРАТОР ЗА ПОСТОЯНЕН ТОК

ЦЕЛ НА УПРАЖНЕНИЕТО

1. Запознаване с конструкцията и принципа на действие на генераторите за постоянен ток.

2. Усвояване на процесите "пускане" и "регулиране на напрежението" на генератор за постоянен ток.

3. Снемане на основните характеристики на генератор за постоянен ток.

ТЕОРЕТИЧНА ПОСТАНОВКА

Генераторът за постоянен ток преобразува механична енергия в електрическа енергия на постоянен ток. Електрическите машини за постоянен ток са обратими, т.е. могат да работят и като двигатели и като генератори. Затова няма конструктивна разлика между генератор и двигател за постоянен ток (виж упражнение № 11).

В зависимост от начина на захранване на възбудителната намотка генераторите за постоянен ток биват с независимо възбуждане и със самовъзбуждане. Възбудителната намотка на генераторите с независимо възбуждане се захранва от външен източник. Генераторът със самовъзбуждане сам захранва възбудителната си намотка. За да може да се самовъзбуди, е необходимо в неговата магнитна верига да има остатъчно магнитно поле Φ_0 ($\Phi_0 = 2+3\% \Phi_n$), а за да не се размагнити машината, трябва да се спазва означената на тялото посока на въртене. Използваните в практиката генератори със самовъзбуждане са главно с паралелно възбуждане (ГПВ) и със смесено възбуждане (ГСВ). При ГПВ възбудителната намотка се свързва паралелно на котвената намотка, а ГСВ има две възбудителни намотки, едната от които се свързва паралелно, а другата - последователно на котвената намотка.

Принципът на действие на генераторите за постоянен ток се основава на явлението електромагнитна индукция. Когато роторът на генератора се върти с ъглова скорост Ω , проводниците на котвената намотка пресичат магнитните линии на полето, създадено от индуктора, и в тях се индукира променливо е.д.н., чиято средна стойност е

$$E = c \cdot \Phi \cdot \Omega,$$

където c е коефициент, зависещ от конструкцията на машината.