
Motor de corrent continu amb escombretes

Autor:

Data de publicació: 09-01-2026

Un motor de corrent continu, motor commutador o màquina commutadora, és una màquina elèctrica rotativa que funciona amb corrent continu o genera corrent continu. Depenent de la direcció del flux de potència, es fa una distinció entre el motor de corrent continu (un motor elèctric al qual s'abasteix energia elèctrica i s'extreu energia mecànica) i el generador de corrent continu (un generador elèctric del qual s'extreu energia mecànica). Les màquines de corrent continu poden arrencar sota càrrega, i la seva velocitat és fàcil de canviar.

Aquest article parla del motor elèctric o generador anomenat motor de corrent continu;

Motor bipolar de corrent continu excitat per imant permanent

Un motor de corrent continu, motor commutador o màquina commutadora, és una màquina elèctrica rotativa que funciona amb corrent continu o genera corrent continu. Depenent de la direcció del flux de potència, es fa una distinció entre el motor de corrent continu (un motor elèctric al qual s'abasteix energia elèctrica i s'extreu energia mecànica) i el generador de corrent continu (un generador elèctric del qual s'extreu energia mecànica). Les màquines de corrent continu poden arrencar sota càrrega, i la seva velocitat és fàcil de canviar.

Una característica de les màquines clàssiques de corrent continu és un inversor mecànic conegut com a commutador o girador de pals. [1] Amb aquesta ajuda, es genera un corrent altern dependent de la velocitat al rotor durant el funcionament del motor. En mode generador, converteix la tensió alterna subministrada pel rotor en una tensió contínua pulsant.

També hi ha casos d'ús en què la mateixa màquina de corrent continu s'utilitza com a motor en ocasions i com a generador en altres ocasions.

Una forma especial és la màquina unipolar, que es pot utilitzar per generar corrent continu sense necessitat d'un commutador.

Continguts

Història

Màquina de corrent continu històrica de Zénobe Gramme (cap al 1880)

Afavorits pel desenvolupament dels primers elements galvànics a la primera meitat del segle XIX, els primers convertidors d'energia electromecànics eren màquines de corrent continu. La forma original d'un motor elèctric va ser

dissenyada per Ányos Jedlik el 1829. El 1832, el francès Hippolyte Pixii va construir el primer generador de corrent continu. Cap al 1860, Antonio Pacinotti va construir un motor de corrent continu amb un commutador de diverses parts. El 1872, Friedrich von Hefner-Altenneck va desenvolupar l'armadura de tambor, que, juntament amb el treball de Werner von Siemens sobre el principi dinamoelèctric, va obrir la possibilitat de l'autoexcitació i l'ús industrial en el camp de l'enginyeria mecànica a gran escala. [2]

En les dècades següents, la màquina de CC va perdre la seva importància en l'enginyeria mecànica a gran escala a causa del desenvolupament del corrent altern trifàsic. En particular, les màquines síncrones i, per a sistemes d'accionament de baix manteniment, el motor asincrònic va substituir la màquina de corrent continu en moltes àrees d'aplicació. La màquina de corrent continu amb excitació externa es pot controlar fàcilment, perquè els corrents a través dels bobinats de l'armadura i l'estator es poden controlar per separat. Per tant, la màquina de corrent continu ha mantingut una certa importància, especialment en el camp dels sistemes d'accionament altament dinàmics, per exemple per accionar màquines-eines amb control precís de velocitat i parell. En la gamma d'ultra-baixa potència, per exemple en ferrocarrils en miniatura, el motor de corrent continu d'imant permanent és especialment comú pel seu disseny senzill.

Construcció

Model seccional d'un motor industrial de corrent continu

La màquina té una peça immòbil, l'estator. Consisteix en un jou en forma de cilindre buit. Els pals principals s'hi fixen i, en el cas de màquines més grans, també pals de gir. L'estator no està fet de xapa metàl·lica, sinó de material sòlid, ja que no hi ha camp magnètic altern i, per tant, no es produeixen corrents de Foucault. El nucli del pol principal transporta el pol principal o l'enrotllament d'excitació, o bé els imants permanents generen el flux necessari del pol principal (màquina d'imants permanents). L'enrotllament de compensació es troba a les sabates de pal de màquines més grans.

La part giratòria de la màquina de CC s'anomena rotor o, en màquines convencionals, armadura. El rotor està fet de xapa metàl·lica, si no, es produirien grans pèrdues per corrents de Foucault a causa de les magnetitzacions resultants. La majoria de màquines de corrent continu estan dissenyades com a rotors interns: el rotor és la part interior, l'estator la part exterior. Amb els outrunners, és a l'inrevés.

Ancoratge de bateriaEsquema de desenrotllament per a una armadura de tambor amb bobinat a l'eix i magnetització per corrent

Una o més bobines de l'armadura es col·loquen en un camp magnètic de l'estator de manera que la força de Lorentz i, de vegades, també la força de reluctància generen un parell. Els bobinats de l'armadura estan connectats mitjançant un commutador (girador de pals). Els contactes lliscants del commutador (raspalls metàl·lics o "raspalls" de carboni) canvien la polaritat dels enrotllats de l'armadura durant la rotació de manera que el corrent de la direcció corresponent sempre flueix a través d'aquells bobinats que es mouen transversalment al camp d'excitació. Hi ha un voltatge de corrent continu pulsant disponible als raspalls. Diversos llaços d'enrotllament espacialment escalonats (bobinats) aconsegueixen suavitzar la corba de tensió.

Els raspalls estan fets d'un material que ofereix bon contacte amb poc desgast (sovint grafit autolubricant, de vegades barrejat amb pols de coure (vegeu raspall de carboni); en el cas de petits motors, per exemple per a gravadores de casset, també raspalls de metalls preciosos).

Invertint el principi (l'armadura es mou des de fora), s'obté un generador. Gairebé només s'utilitzen mètodes de construcció permanents o excitats externament per generar electricitat. El commutador converteix el corrent altern generat en corrent continu.

El comportament motor general està determinat per la intensitat del camp de l'enrotllament de camp i les propietats de l'enrotllament de l'armadura (nombre de voltes, nombre de pols).

Màquina de corrent continu d'imants

Representació esquemàtica del funcionament d'una màquina de corrent continu amb imants permanents

En motors més petits (joguines, actuadors, ventiladors i ventiladors de radiador en vehicles de motor, accionaments elèctrics en bicicletes), el camp magnètic de l'estator s'excita mitjançant un imant permanent i no elèctricament per una bobina[3]. Aquests imants s'han tornat cada cop més potents amb el desenvolupament dels motors de corrent continu i també permetrien la construcció de motors més grans. Tanmateix, el cost dels imants permanents grans seria més alt que el de l'enrotllament d'excitació.

Els motors d'imants permanents, com les màquines excitées externament, tenen corrents d'irrupció molt alts. El seu comportament operatiu s'explica a la secció de Model Físic. Les màquines d'imants permanents tenen l'avantatge que no cal energia per generar el camp magnètic. Això millora l'eficiència, especialment amb poca potència total. L'inconvenient és que el camp no està debilitat i, per tant, la velocitat es pot variar menys.

Màquina de corrent continu excitada

Si el camp de l'estator és generat per un electroimant, s'anomena excitació elèctrica. Si l'enrotllament d'excitació és independent del circuit d'armadura, això s'anomena excitació externa. Si els bobinats del rotor i de l'estator estan connectats entre si, es fa una distinció:

Màquina de tancament de sèries

Corba característica d'una màquina de tancament en sèrie: parell sobre velocitat a tensió terminal constantPrincipi funcional del motor enrotllat en líniaMotor enrotllat en sèrie (cablejat intern)

A la màquina de tancament en sèrie (també anomenada màquina de tancament principal), l'armadura i els bobinats d'excitació estan connectats en sèrie. L'enrotllament d'excitació ha de ser de baixa impedància. Quan s'alimenta amb tensió de CA, tant el camp d'excitació com el corrent de l'induit canvien de direcció després de cada mitja ona, de manera que el parell resultant continua actuant en la mateixa direcció encara que la direcció del corrent s'inverteixi. Per tant, un motor enrotllat en sèrie també pot funcionar amb corrent altern. En aquest cas, el nucli de ferro de l'estator ha de ser un paquet metàl·lic per evitar corrents de Foucault.

Els motors monofàsics de corrent altern (motors monofàsics de bobina en sèrie) es poden trobar en locomotores elèctriques antigues (d'aquí la diferència de freqüència de 16,7 Hz a la xarxa de tracció) així com en automotors de tramvia. També s'utilitzen sota el terme motor universal o motor de corrent total en moltes màquines domèstiques (aspiradores, processadors d'aliments) i dispositius elèctrics de mà (trepants). Els engegadors dels grans motors de combustió (per exemple, en camions) són motors de bobina en línia.

Per poder operar un motor en sèrie com a generador (per exemple, en el frenat elèctric dels tramvies), cal invertir el seu bobinat d'excitació, en cas contrari el corrent generat que circula pel bobinat de camp cancel·la el camp d'excitació.

El parell d'una màquina de tancament en sèrie depèn fortament de la velocitat (comportament de tancament en sèrie). A baixes velocitats, la tensió de contraïnducció de l'enrotllament de l'inducció és baixa. Per tant, un corrent elevat flueix a través de l'armadura i l'enrotllament d'excitació, i es pot aplicar un parell elevat. La tensió de contraïnducció augmenta amb la velocitat. El corrent i l'excitació disminueixen i, amb això, el parell de la màquina.

No obstant això, els motors bobinats en sèrie tenen un corrent d'arranque molt més baix que els motors de derivació o d'excitació permanent, especialment en funcionament de corrent altern («motor universal», per exemple en aspiradores). No obstant això, proporcionen un parell d'arrencada molt alt durant un curt període, per això s'utilitzen en arrencades, tramvies i locomotores elèctriques, on són extremadament sobre-carregables en funcionament curt.

Quan s'opera amb corrent altern, el parell pulsa amb el doble de la freqüència de la xarxa, de manera que els elements compensadors han d'estar interposats en motors grans. Això també s'aplica a màquines sincròniques monofàsiques.

Les connexions de l'armadura s'anomenen A1 i A2, les de l'enrotllament d'excitació D1 i D2. En el circuit mostrat, el motor gira en sentit horari, reconeixible per la fletxa dibuixada a l'armadura.

Màquina de

Corba característica d'una màquina de derivació: parell sobre la velocitat, a tensió terminal constantMàquina de derivacióMotor de derivació (cablejat intern)

A la màquina de derivació, els enrotllats d'excitació i d'armadura estan connectats en paral·lel. El corrent d'excitació només està limitat per la resistència òhmica de l'enrotllament d'excitació, que té un nombre elevat de voltes i inductància. No és possible operar amb tensió de CA, ja que el corrent d'excitació quedaria molt endarrerit respecte al corrent de l'armadura. La velocitat de les grans màquines de derivació és gairebé independent del parell, per això és especialment adequada per a aplicacions on el parell de càrrega fluctua però la velocitat ha de ser tan constant com sigui possible, per exemple, cintes transportadores i polipastes on també s'utilitzen motors asíncrons.

Els motors de derivació poden passar si el circuit d'excitació s'interromp, ja que la velocitat i el consum de corrent augmenten dràsticament a mesura que el camp d'excitació disminueix.

Els motors de derivació poden funcionar com a generador (per exemple, per a la frenada) si una font de tensió auxiliar o una magnetització residual assegura que hi ha una excitació a l'inici del procés de frenada. A mesura que augmenta l'excitació o la velocitat, també augmenta la tensió generada – és la tensió la que contraresta el corrent i assegura una velocitat constant fins i tot quan el motor està en funcionament. Per això també se'l coneix com a contravoltatge. L'augment de la contratensió amb l'excitació, és a dir, en el cas dels motors de derivació amb la tensió d'alimentació, fa que la seva velocitat depengui poc de la tensió, sempre que no hi hagi saturació magnètica. A mesura que el voltatge disminueix, també ho fa la rigidesa de la velocitat. En canvi, en un motor DC excitat externament amb un camp d'excitació constant i subministrat independentment, la velocitat sense càrrega és proporcional a la tensió de l'armadura.

Les connexions de l'armadura s'anomenen A1 i A2, les de l'enrotllament d'excitació E1 i E2. En el circuit mostrat, el motor gira en sentit horari, reconeixible per la fletxa dibuixada a l'armadura.

El parell màxim que es pot aconseguir està limitat pel corrent d'armadura permès, que depèn principalment de les mesures de refrigeració preses. Les grans màquines de derivació en laminadors estan ventilades externament per permetre un corrent d'armadura elevat i, per tant, un parell elevat fins i tot a baixes velocitats.

Si s'aplica sobtadament la tensió nominal de funcionament d'una màquina de derivació, un corrent d'entrada molt alt flueix a través de l'armadura, que pot activar circuits de protecció. Per tant, les màquines grans s'han d'engegar amb un voltatge més baix. Això desplaça la corba característica paral·lela a baixes velocitats, de manera que intersecta l'eix de parell en una zona fora de la sobrecàrrega. El parell d'arrencada i el corrent d'ancoratge aturats es limiten llavors. Juntament amb l'augment posterior de la velocitat de la transmissió, també es pot augmentar la tensió. Alternativament, es poden utilitzar resistències al circuit d'armadura per arrencar; això fa que la corba característica sigui més plana, de manera que al seu torn interseca l'eix en una zona fora de la sobrecàrrega. L'inconvenient d'aquest mètode és la dissipació de potència a la resistència, que després pot haver de ser refredada activament.

Màquina

Corba característica d'una màquina de doble bobinat: parell sobre velocitat, a tensió terminal constant

El motor de doble bobina (també conegut com a motor compost) combina les característiques dels motors auxiliars i de bobina en línia en una sola màquina. Té un tancament en sèrie i un bobinat de derivació. Depenent del disseny, el motor doble esquirol té un comportament d'operació diferent. Quan es compon correctament, té un parell d'estrenyiment lleugerament inferior al d'un motor enrotllat en línia equivalent. La seva velocitat disminueix lleugerament més sota càrrega que la d'un motor de derivació corresponent. No passa en ralenti. Si el motor doble esquirol està sobrecompost, principalment té un comportament de tancament en sèrie, és a dir, un parell d'estrenyiment elevat, però una velocitat inestable. En el cas de la subcomposició, té predominantment un comportament de derivació, és a dir, estabilitat a alta velocitat, però un parell d'ajustament més baix. El motor de doble correfa s'utilitza, per exemple, per accionar pressions i punxades, a causa del seu mateix comportament velocitat-parell.

Màquina estranyament

Abast d'operació d'una màquina de CC excitada externament

Aquí, l'armadura i els bobinats d'excitació són alimentats per dos controladors DC diferents que es poden ajustar per separat. Mentre que a la màquina de derivació la tensió d'excitació és igual a la tensió de l'indux, en màquines excitades externament la velocitat n es pot augmentar més enllà de la velocitat nominal n_N reduint el corrent d'excitació, en aquest cas també anomenat debilitament de camp del flux magnètic. Al diagrama de la dreta, això correspon a l'interval amb n/n_N superior a 1. Al mateix temps, el parell M es redueix. D'altra banda, la tensió de l'induït U_A de la màquina excitada externament es pot reduir independentment del corrent d'excitació. Això resulta en una reducció de potència i una reducció simultània de la velocitat amb un parell constant.

A causa de la separació de la controlabilitat dels bobinats d'armadura i d'excitació, es poden aconseguir punts de funcionament diferents per sota de la corba característica de parell amb ratlles vermelles mitjançant el tipus de control. S'ofereixen avantatges com un parell elevat aturat o a baixes velocitats. Per aquesta raó, les màquines de corrent continu excitades externament van jugar un paper important en el camp dels sistemes d'accionament altament dinàmics, per exemple en màquines-eina o unitats múltiples de transport urbà ràpid elèctric com la DB Classe 420, fins als anys vuitanta. En els anys següents, les màquines de corrent continu van ser progressivament substituïdes en aquestes àrees d'aplicació per màquines trifàsiques amb convertidors electrònics de freqüència ascendents, que en combinació ofereixen els mateixos avantatges per a accionaments altament dinàmics però amb costos de manteniment més baixos.

En el passat, també s'utilitzaven màquines de corrent continu excitades externament en el conjunt Leonard, que anteriorment era l'únic accionament de velocitat variable per a sortides altes, que consistia en un motor asíncron trifàsic, un generador de corrent continu excitat externament i un motor de corrent continu.

Dissenys

Màquines d'àncora

Rotor d'una màquina d'armadura de campana amb bobinat paral·lel circumferencial i impregnació d'equilibri gris lateralment. Diagrama d'un motor d'armadura de campana, a sobre: longitudinal i secció transversal, a sota: disposició de les cordes de la bobina a la superfície del cilindre; B = flux magnètic, i = corrent = flux de corrent

També es poden construir màquines petites de fins a uns 100 watts amb imants permanents amb un rotor buit. El rotor és sense ferro, enrotllat d'autosuport i impregnat de resina.

En aquest cas, l'estator, un imant permanent, es troba dins del rotor. La carcassa externa del motor feta de ferro constitueix la conclusió necessària per al flux magnètic de l'estator. L'estructura elèctrica correspon a la primera il·lustració.

A causa de l'estructura sense ferro del rotor, el motor no genera cap parell d'engranatge, es pot girar completament lliurement.

Com que, a diferència de tots els altres motors, no cal remagnetitzar cap peça de ferro durant el funcionament, aquest motor està lliure de pèrdues de ferro i aconsegueix eficiències més altes a altes velocitats. En particular, però, el seu moment d'inèrcia rotacional és menor, per això es pot utilitzar per realitzar accions altament dinàmiques i lleugeres. Els vehicles de ferrocarril en miniatura equipats amb motors d'armadura de campana es caracteritzen per un funcionament sense tirones i bones característiques de conducció a baixa velocitat.

L'inconvenient és l'espai d'aire gran en el circuit d'excitació, que resulta en una densitat de flux magnètic reduïda. El mètode de construcció autoportant imposa grans exigències tecnològiques, ja que les forces centrífugues s'han d'absorbir i no és possible equilibrar l'ancoratge mitjançant l'eliminació de materials. La resistència necessària als xocs limita la mida de l'ancoratge.

Motor de disc amb commutador 1 disc fet de fils de coure. 2 La meitat més petita de l'estator 3 Imants rodons de barra fets d'AlNiCo 4 Dos raspalls de carboni instal·lats, normalment quatre per costat de l'estator 5 Línies d'alimentació

Motors de disc

En el motor del rotor de disc, el rotor és un disc prim que gira en un camp magnètic que corre paral·lel a l'eix. Aquesta variant està disponible amb un camp magnètic permanent de l'estator i un commutador, però també com a motor sense

escombres. A causa de la seva massa relativament baixa, el rotor té una inèrcia de massa baixa, cosa que fa que el motor sigui adequat per a aplicacions dinàmiques.

Màquina de corrent continu sense escombres

? Article principal: Motor DC sense escombres

L'inconvenient de les màquines de corrent continu són les espurnes generades pels raspalls ("incendi de matolls"). Els incendis de matolls són la principal causa de les alteracions d'alta freqüència que el motor retorna a la xarxa durant el funcionament i interfereixen amb altres consumidors elèctrics. També limita la velocitat màxima de rotació, ja que els raspalls s'escalfen a altes velocitats i s'esgoten especialment ràpidament. A més, les altes velocitats també provoquen tensions d'inducció més altes, cosa que pot provocar un incendi de matolls en circulació.

Amb el desenvolupament de l'electrònica, els motors síncrons més petits d'imant permanent es poden operar de manera que es puguin descriure des de fora de manera similar a una màquina de corrent continu. [1] Aquests motors amb convertidors electrònics s'anunciaven, especialment en el món angloparlant, com a corrent continu sense escombres (BLDC), que es tradueix com a màquina de corrent continu sense escombres alemanya. La màquina també és coneguda com a motor EC (EC per a commutació electrònica). Pel que fa al disseny, aquests motors són similars a màquines síncrones d'imant permanent sense amortiment i també es poden controlar com a màquines síncrones en aplicacions amb autoamortiment suficient. [4]

Efectes

Retroactivitat de l'ancoratge

Com que l'armadura té un corrent que el travessa, també es forma un camp magnètic al seu voltant. Això enforteix el pelotó a un costat de l'escala i el debilita a l'altre. En general, això fa que el rang de neutres, en què cal canviar la polaritat del corrent, canviï una mica tard, és a dir, en mode generador en la direcció de rotació i en mode motor en contra de la direcció de rotació. Tanmateix, com que el commutador no s'adapta (és a dir, sempre commuta perpendicularment a les sabates del pol i no perpendicular a les línies de camp "efectives"), encara hi ha una tensió d'inducció als raspalls de carboni en el moment de la commutació (commutació), i es formen espurnes, l'incendi de matolls. En sistemes que requereixen un parell uniforme i només funcionen en una direcció (per exemple, ventiladors potents), el foc de matolls es pot reduir muntant el portador de la brossa de manera lleugerament torçada i després canviant perpendicularment a les línies de camp efectives en l'estat de funcionament. Tanmateix, això requereix ajustos en l'operació i avui dia gairebé mai es fa per motius de cost. En canvi, s'utilitzen bobinats reversibles de pols i de compensació en màquines grans, que "doblegen" les línies de camp fins a la posició ideal, per dir-ho d'alguna manera.

Contravoltatge

L'armadura gira dins el motor dins del camp de l'estator. Segons el principi del generador, s'indueix una tensió a les seves bobines fins i tot quan el motor està en funcionament. Aquesta tensió induïda està polaritzada com la tensió de funcionament i, per tant, contraresta el corrent del rotor. S'anomena contravoltatge. És un paràmetre important dels motors, amb l'ajuda del qual es pot determinar la velocitat de ralenti dels motors permanentment excitats.

El corrent de l'armadura provoca una caiguda de tensió òhmica a la resistència de l'armadura (coure), aquesta caiguda de tensió augmenta amb la càrrega sobre el motor (augmentant el consum de corrent) i provoca una caiguda de velocitat en els motors. En el cas de motors grans excitats externament, aquesta disminució de velocitat és molt petita.

La contra-FEM és estrictament lineal, depenent de la velocitat de l'armadura i de la força de l'excitació. La contra-EMF pot ser utilitzada per circuits de control per estabilitzar amb precisió la velocitat de motors permanentment excitats; Això

s'utilitzava, per exemple, en gravadores de cassette.

Quan la direcció del corrent s'inverteix (tensió terminal < EMF), la contra-EMF converteix el motor en un generador, que es pot utilitzar per a la frenada i la recuperació d'energia (frenada regenerativa).

En cas d'aturada del motor, no hi ha contratensió. Per això els motors de corrent continu excitats externament i permanentment tenen un corrent d'arrencada elevat: la resistència de les bobines del rotor és relativament petita i, per tant, el corrent en el moment d'encesa és molt alt.

Sense limitar el corrent d'arrencada, els motors grans o la xarxa d'alimentació poden estar sobrecarregats, així que les resistències d'arrencada s'utilitzen en sèrie a l'armadura, que es van curtcircuitant gradualment després de l'arrencada.

En el passat, els motors en sèrie dels tramvies també s'engegaven mitjançant interruptors de tracció (resistència a esglaons), però avui dia això s'aconsegueix amb menys pèrdues mitjançant reguladors d'interruptor (funcionament per chopper).

A les locomotores elèctriques, s'utilitzaven transformadors amb canviadors de preses, en què transformadors variables més petits "tremolaven" d'una etapa a una altra. Aquí també s'utilitzen electrònica de potència (interruptors IGBT).

Model

Esquema de circuits equivalent de l'armadura i l'enrotllament d'excitació (enrotllament de camp)

Segons l'especificació del sistema de fletxes de recompte per a consumidors (tal com s'assumeix, per exemple, la llei d'Ohm),

$$L \frac{di_A(t)}{dt} = U_{ind} - R_A i_A(t) + U_A \quad (1)$$

Si s'assumeix que el corrent és constant en el temps $\frac{di_A(t)}{dt} = 0$, segueix

$$0 = R_A i_A - U_{ind} + U_A \Rightarrow U_A = R_A i_A + U_{ind}$$

Si també es té en compte la llei de la inducció, esdevé

$$U_A = R_A i_A + k_2 \omega \quad (1a)$$

Aquesta equació es pot interpretar de la següent manera:

Per a constant U_A i la petita R_A és la tensió induïda U_{ind} insignificantment menor que U_A . Això vol dir que a un cabal constant ω n'aproximadament proporcional a l'estrès de l'armadura. A la zona ω_{unenn} la velocitat es pot controlar així mitjançant la tensió de l'armadura. Això s'anomena rang d'ajust de l'àncora. Per si un cas $U_A = U_{unenn}$ i $\omega = \omega_{nnenn}$ U_n parla del punt de tipus. Per sobre del punt de tipus, a tensió constant de l'armadura U_A un augment de velocitat degut a una reducció del flux magnètic Φ mitjançant una reducció del corrent d'excitació (àrea de debilitat del camp). Tanmateix, aquí cal observar algunes condicions de frontera. La velocitat no ha de superar un valor màxim aprovat. A causa de l'efecte de la força de Lorentz, $M = k_1 \Phi i_A$ i, en conseqüència, el parell permès M és proporcional Φ més petit.

$$L \frac{di_E}{dt} = R_E i_E + u_E \quad (2) \quad u_{ind} = c_A \Phi \omega \quad \Phi = 1/N \frac{d\lambda}{dt}$$

Conté

i_A el corrent d'ancoratge, u_A la tensió de l'armadura, R_A la resistència del bobinatge, L_A la inductància de l'enrotllament de l'armadura, u_E la tensió d'excitació, i_E el corrent d'excitació, la resistència de l'enrotllament R_E i inductància L_E el desenvolupament del patògen, ω la velocitat angular del rotor, u_{ind} la tensió induïda a l'armadura, Φ el flux de patògens, λ el flux d'espai d'aire, n la velocitat, M el parell, k_1 i k_2 una màquina constant cadascuna.

Les equacions del sistema mecànic amb l'assumpció que el circuit excitador no està saturat:

$$J \frac{d\omega}{dt} = (3) \quad J \frac{d\omega}{dt} = c_A \Phi i_A - T_L \quad (4)$$

Conté

N – el nombre de voltes del desenvolupament de l'excitació, J el moment d'inèrcia massiu de l'armadura i totes les masses rígidament connectades a ell, θ l'angle de rotació de l'armadura, ω la velocitat angular de l'armadura, $\sum T$ la suma de tots els moments de càrrega a l'ancoratge. c_A denota l'anomenada constant de màquina.

Algunes equacions escrites de manera diferent:

$$U_A = i_A R_A + L_A \frac{di_A}{dt} + U_{qE} = i_E R_E + L_E \frac{di_E}{dt} + U_{qE} = c \omega \Phi \quad (IE)$$

s'inclou:

UA: Tensió de l'armadura UE: Tensió d'excitació U_q: tensió induïda c: Constant de màquina?: flux magnètic del camp principal

Literatura

Rolf Fischer: Elektrische Maschinen. 14a edició. Hanser, 2009, ISBN 978-3-446-41754-0.

Hans Otto Seinsch: Grundlagen elektrische Maschinen und Antriebe. Teubner, 1999, ISBN 3-519-06164-3.

Klaus Fuest, Peter Döring: Elektrische Maschinen und Antriebe. 6a edició. Vieweg, 2004, ISBN 3-528-54076-1.

Enllaços

walter-fendt.de Model animat del principi del motor elèctric

walter-fendt.de Model animat segons el principi del generador

Representació interactiva de la corba característica de màquines DC excitades externament. A: GeoGebra.

Referències

Avui dia, també hi ha motors sense escombretes o EC amb un commutador electrònic (EC).

Rolf Fischer: Elektrische Maschinen. 14a edició. Hanser, 2009, ISBN 978-3-446-41754-0, pp. 32 a 33 .

GROSCHOPP AG Drives & Más: Motors elèctrics - duradors, potents i fiables.

A: <https://www.groschopp.de/de/elektromotoren>. GROSCHOPP AG Drives & More, consultat el 29 de febrer de 2024.

Sol·licitud de patent DE10102235A1: Màquina de corrent continu sense escombres. Presentat el 19 de gener de 2001, publicat el 14 d'agost de 2002, Sol·licitant: Robert Bosch GmbH, Inventor: Martin-Peter Bolz.?

Dades d'autoritat (terme tècnic): GND: 4133265-9 (GND Explorer, lobid, OGND)