



Електротехнички факултет
Енергетски одсек
Катедра за енергетске претвараче и погоне

ИСПИТИВАЊЕ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИНА

8. Испитивање машина за једносмерну струју

Предавач:
доц. др Младен Терзић



Значај и примена МЈС

- ▶ Још увек се срећу у ем погонима, електричној вучи, а најчешће у лабораторијама где се користе за испитивање других машина
- ▶ Мотори ЈС имају најједноставнију и веома фину регулацију брзине
- ▶ Главне мане због којих се све више замењују са другим ЕМ: скупа и компликована израда ротора, присуство четкица и комутатора (трошење, редовна замена и чишћење, комутација)



namotaj	nova oznaka	stara oznaka
indukt	A1, A2	A, B
pomoćni polovi	B1, B2	G, H
kompenzacija	C1, C2	G, H
redna pobuda	D1, D2	E, F
paralelna pobuda	E1, E2	C, D
nezavisni pobudna	F1, F2	I, K



Испитивања МЈС

Серијска

- ▶ **Отпорност намотаја у топлом стању**
- ▶ Отпорност изолације у хладном стању
- ▶ Провера прикључака и четкица
- ▶ **Празан ход**
- ▶ Генераторски кратак спој
- ▶ **Провера комутације** на 1,5 до $3I_n$
- ▶ Испитивања при повишеној брзини
- ▶ **Провера индукованим напонем**
- ▶ **Провера доведеним напонем**

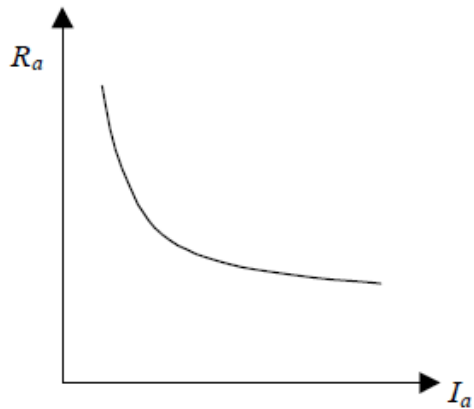
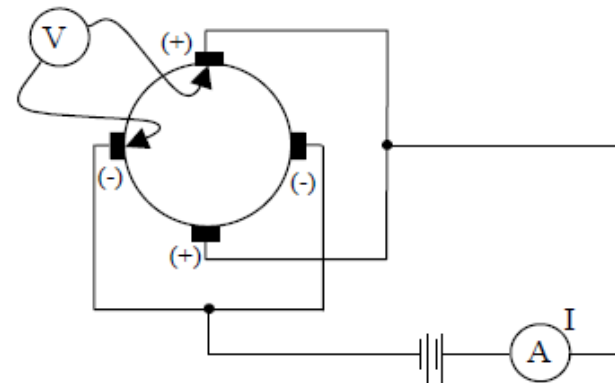
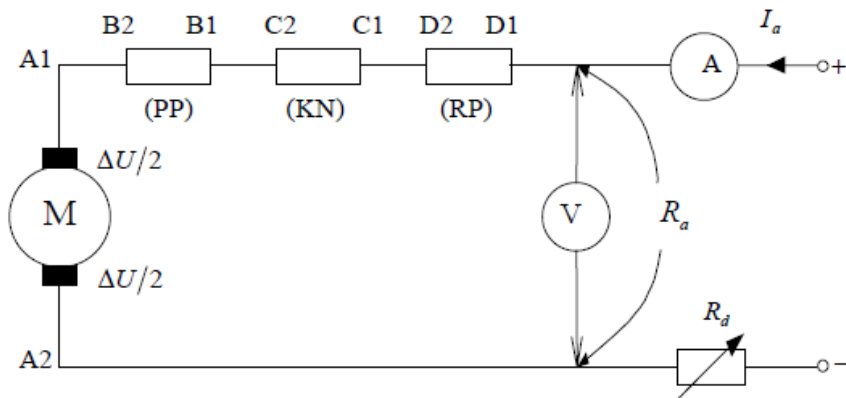
Типска

- ▶ Загревање и хлађење
- ▶ Оптерећење при назначеном напону
- ▶ Мерење $\text{tg}\delta$
- ▶ Мерење капацитивности намотаја
- ▶ Мерење вибрација
- ▶ Мерење напона вратила или струје лежаја
- ▶ Временска константа индуктора и индукта
- ▶ Провера буке
- ▶ Укупна тежина



Мерење отпора намотаја индукта

▶ Три врсте отпорности намотаја: отпорност самог намотаја индукта, отпорност између прикључних крајева (A1, A2) који обухвата и прелазни отпор четкица и комутатора, укупни отпор који обухвата још и отпор помоћних и компензационих намотаја



$$R_a = R + R_c = R + \frac{\Delta U}{I_a}$$



Испитивање комутације

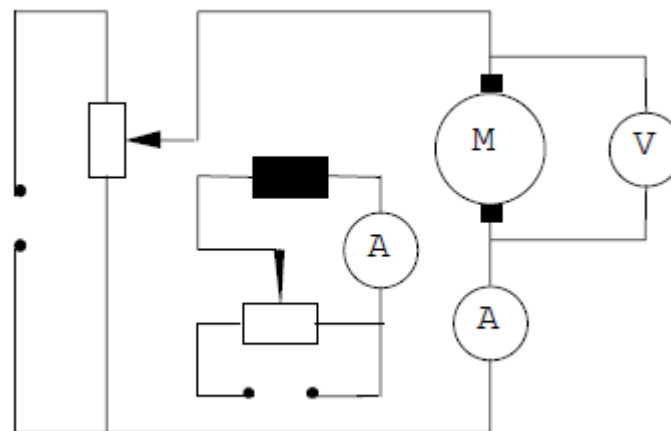
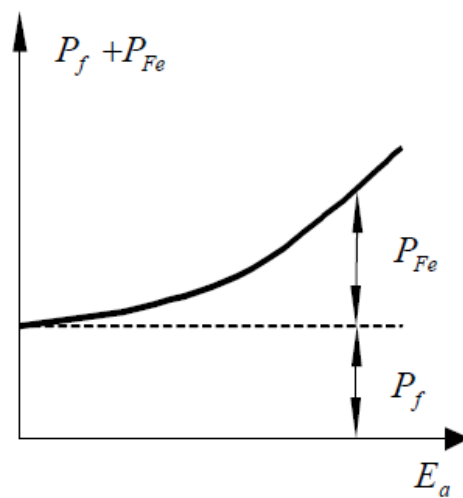
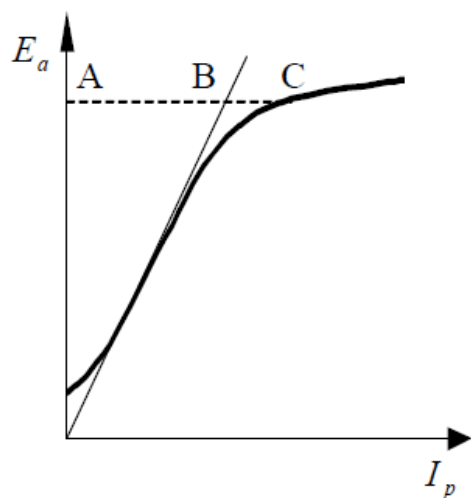
- ▶ Највећи проблем колекторских машина
- ▶ Због реакције индукта долази до померања неутралне зоне у којој треба да буду смештене четкице односно у којој треба да се одиграва комутација
- ▶ Реакција индукта се компензује помоћним половима и компензационим намотајима који се уграђују у чело главних полова
- ▶ При испитивању треба утврдити исправност комутације при номиналној брзини, оптерећењу, а такође и при предвиђеној струји преоптерећења
- ▶ На лошу комутацију могу генерално утицати: неисправан положај четкица (ван неутралне зоне) односно неправилно димензионисани помоћни полови
- ▶ Провера постављености четкица у неутралну зону врши се снимањем карактеристика оптерећења за оба смера обртања. Ако се карактеристике подударају онда су четкице исправно постављене



Испитивање у огледу празног хода

- Циљ је добијање следећих карактеристика (у режиму генератора или мотора):

$$P_f + P_{Fe} = f(E_a) \quad E_a = f(I_p)$$



$$P_0 = U I_0 = P_f + P_{Fe} + R_a I_0^2 \Rightarrow P_f + P_{Fe} = U I_0 - R_a I_0^2 = f(E_a)$$

$$E_a = U - R_a I_0 = f(I_p)$$

- Потребно је познавати R_a у ф-ји струје



Структура губитака МЈС

▶ Укупни губици: $P_g = P_{pu} + P'_0 + P_t + P_d$

P_{pu} ▶ Губици независне или паралелне побуде

$P'_0 = P_f + P_{Fe}$ ▶ Губици празног хода

▶ Губици услед оптерећења

$$P_t = P_{t,Fe} + P_{Cu} + P_{\Delta U} = P_{t,Fe} + R I_a^2 + \Delta U I = P_{t,Fe} + R_a I_a^2$$

▶ Укупни губици (упрошћен израз):

$$P_g = P_f + P_{Fe} + R_a I_a^2 + U_p I_p + P_d$$

$$P_d = k \cdot 0,005 \cdot P_{1n} \cdot \left(\frac{I_a}{I_{an}} \right)^2 \quad \text{▶ Додатни губици}$$



Метода одвојених губитака

► За примену ове методе потребно је имати следеће карактеристике:

$$P_f + P_{Fe} = f(E_a), \quad E_a = f(I_p) \text{ и } R_a = f(I_a)$$

► Поступак ће бити илустрован на примеру МЈС са паралелном побудом

(1) Усвоји се константан напон $U=U_n$ и претопстави одређено оптерећење изражено струјом индукта I_a

(2) Са карактеристике $R_a=f(I_a)$ одреди се одговарајући отпор индукта

(3) Затим се израчунају губици у главном колу и емс према

$$R_a I_a^2 \quad E_a = U + R_a I_a \quad \Gamma \quad E_a = U - R_a I_a \quad \text{М}$$

(4) Према одређеној емс E_a одреде се са карактеристика ПХ губици у ПХ и побудна струја

(5) Затим се одреде губици побуде $U I_p$

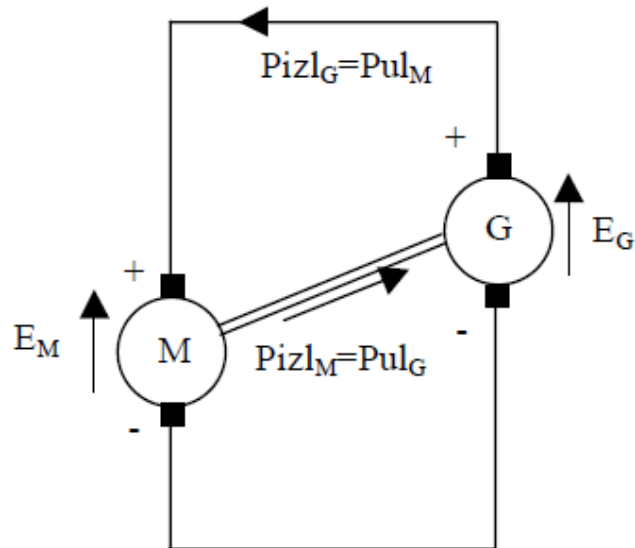
(6) Затим укупна струја оптерећења $I = I_a - I_p \quad \Gamma \quad I = I_a + I_p \quad \text{М}$

(7) Па је степен искоришћења снаге $\eta_G = \frac{UI}{UI + P_g} \quad \Gamma \quad \eta_M = \frac{UI - P_g}{UI} \quad \text{М}$



Опозиционе методе

- ▶ Спадају у методе повратног рада (рекуперације) и примењују се када није оправдано применити директну методу или методу одвојених губитака
- ▶ Примењују се за одређивање степена искоришћења, добијање радних карактеристика, оглед загревања и проверу комутације
- ▶ Потребне су две идентичне машине које треба да се спрегну и механички и електрично тако да једна ради као мотор, а друга као генератор
- ▶ Оптерећење се подешава на номиналну вредност, а спољним електричним и/или механичким изворима покривају се губици у обе машине

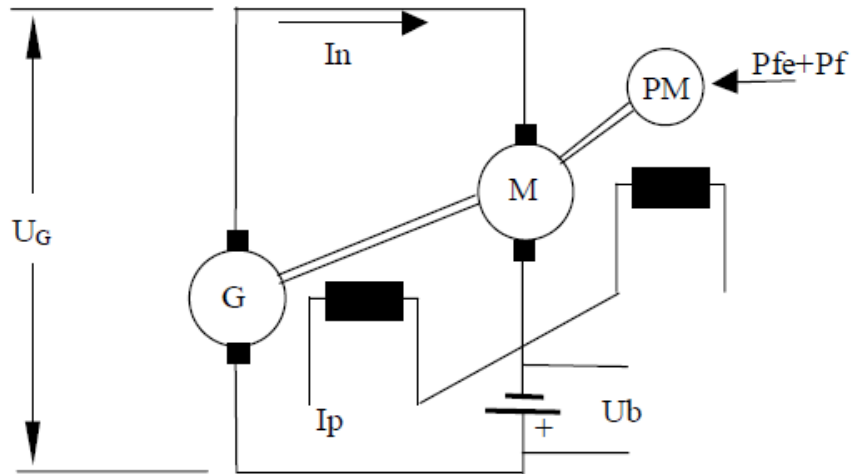


- ▶ Пошто се степен искоришћења одређује из просечних губитака обе машине потребно је да се губици што уједначеније расподеле међу машинама
- ▶ У зависности од начина обезбеђења струје индукта и начина покривања губитака разликује се више опозициониг метода: Хопкинсонова, Блонделова, Хачинсонова, Капова



Блонделова метода

- ▶ Најкоректнија јер су сви губици исти у обе машине али је релативно компликована за извођење
- ▶ Поред помоћног мотора којим се покривају механички губици у обе машине потребан је помоћни генератор или батерија захваљујући коме побудне струје могу да остану исте



- ▶ Напоном батерије подешава се струја индукта на жељену вредност

$$U_b = U_M - U_G = 2 R_a I_a$$

$$U_b I_a = 2 R_a I_a^2$$

$$\sum P_g = 2 P_f + 2 P_{Fe}$$

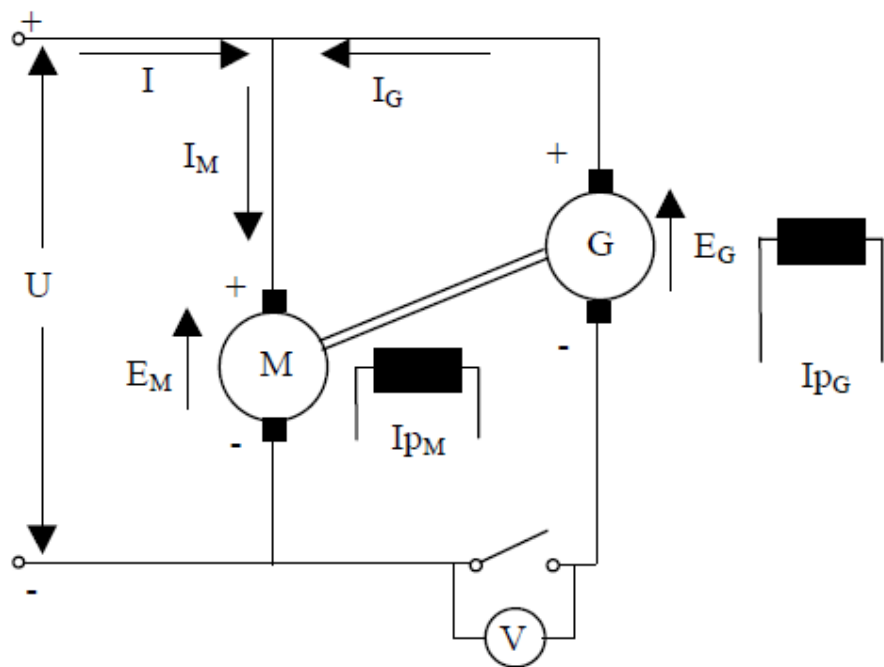
$$P_g = \frac{\sum P_g}{2} + \frac{U_b I_a}{2} + U_p I_p$$



Капова метода

- ▶ Најједноставнија, чисто електрична метода. Сви губици се покривају из DC извора
- ▶ Најмање тачности јер су губици у гвожђу, губици у индукту и допунски губици различити па се због тога обично користи за оглед загревања, радне карактеристике и проверу комутације

$$UI = 2P_f + P_{FeM} + P_{FeG} + R_M I_M^2 + R_G I_G^2 + P_{dM} + P_{dG}$$



$$\sum P_g = 2(P_f + P_{Fe} + P_d) = UI - R_M I_M^2 - R_G I_G^2$$

$$P_{gM} = \sum \frac{P_g}{2} + R_M I_M^2 + U_p I_p$$

$$P_{gG} = \sum \frac{P_g}{2} + R_G I_G^2 + U_p I_p$$



Диелектрична испитивања

- ▶ Ради провере изолације МЈС се испитују доведеним и индукованим напоном
- ▶ Огледи се спроводе на завршеној, потпуно опремљеној машини, одмах након огледа загревања (право стање изолације у раду)

Доведеним напоном

- Изолација између намотаја и намотаја и масе
- Један крај инструмента на намотај, а други на масу
- За машине до 2kV и 10MVA (60s, 50Hz)

$$U_i = 2U_n + 1000 V$$

- За машине из погона напон иде до $1.3U_n$ али не мање од половине прописаног испитног напона
- Провера започиње напоном који није већи од $1/3$ испитног па се до пуног испитног подиже у скоковима од 100V при чему брзина повећавања не сме бити већа од 1000V за 10s.
- Након тога се држи 1min па се смањи на $1/3$ и искључи

Индукованим напоном

- Изолација између унутар намотаја (међузавојна)
- Напон 50Hz трајања 3min и амплитуде $1.3U_n$
- Доводи се напон на статор, а посматра се индуковани на ротору
- Овим се проверава и индуковани напон између ламела односно изолација колектора

