



Електрична машина за једносмерну струју (13 поена)

Увод

Како је то показао дански физичар Ханс Ерстед 1820. године, на проводник постављен у магнетско поље, у коме је успостављена електрична струја, делује магнетска сила. Уколико се такав проводник онда креће у том магнетском пољу, у њему се индукује електромоторна сила према закону електромагнетске индукције које је поставио Мајкл Фарадеј 1831. године. На тај начин, кретање контуре у којој је успостављена електрична струја у магнетском пољу описују два закона, један електрично-механички, који описује утицај струје на момент контуре, и један механичко-електрични, који описује утицај кретања контуре на индуковану електромоторну силу у тој контури.

На темељу тог физичког принципа, убрзо након открића ових закона, реализована је прва *машина за једносмерну струју*, као претварач електричне енергије у механичку и обрнуто. Основну конструкцију машине чине *статор* и *ротор*. Статор је статички елемент, који најчешће обезбеђује потребно електромагнетско поље у делу простора у коме се поставља ротор, најчешће окружујући тај део простора. Ротор је покретни елемент, сачињен из једног или више намотаја танке лакиране бакарне жице, који је механички везан са околином, помоћу круте осовине. Код најједноставније такве машине, статор је реализован као стални магнет, који побуђује стално магнетско поље, док је ротор сачињен из калемова кроз које се смер струје мења механичким комутатором који обезбеђује да момент силе не мења смер током окретања ротора. У зависности од природе оптерећења осовине, и електричног кола прикљученог на њен електрични приступ, оваква машина се може понашати као генератор електричне енергије у колу електричне струје, или као генератор покретачког механичког момента. Дакле, иста машина се зависно од њене околине може понашати као претварач електричне у механичку енергију или обрнуто.

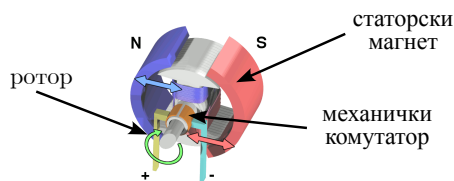
У овом задатку, испитаћемо особине машине за једносмерну струју, са сталним магнетом у статору, у режима рада као мотор (претварач електричне у механичку енергију) и као генератор (претварач механичке у електричну енергију). Поједностављени физички модел електричне машине приказан је на слици 1б. У том моделу, отпорност R представља термогени отпор намотаја ротора електричне машине, I је јачина струје ротора, а U је напон ротора, односно напон на једином електричном приступу машине. Индукована електромоторна сила сразмерна је угаоној брзини осовине као

$$\epsilon_{\text{ind}} = K_e n, \quad (1)$$

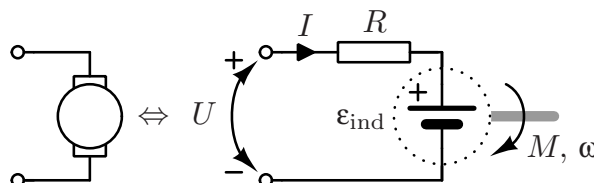
где је n обртна брзина осовине¹ а K_e је електрична константа машине. Покретачки момент осовине мотора одређен је сразмерно струји ротора мотора, према изразу

$$M = K_m I, \quad (2)$$

где је I струја ротора, M је обртни момент (момент силе која делује на осовину) а K_m је моментна константа машине.



(а) Илустрација принципа рада



(б) Електрично-механички модел

Слика 1: Машина за једносмерну струју са сталним магнетом.

Апаратура

- Универзални мерни инструмент предвиђен за мерење јачине једносмерне струје;

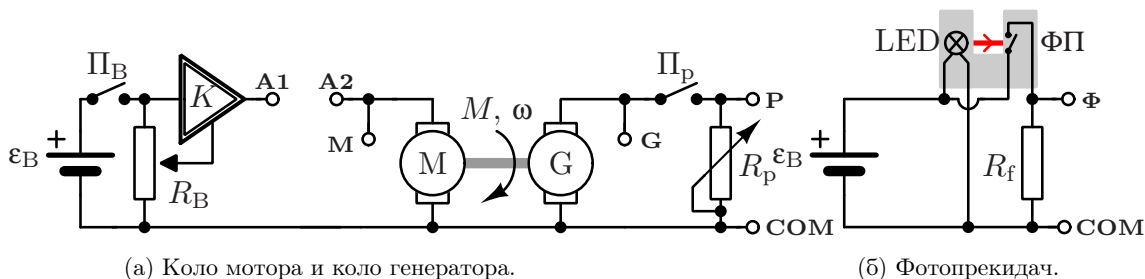
¹Обртна брзина осовине, n , представља број обртаја у јединици времена, може се изразити у јединици обртај у минути [rpm] или у хиљадама обртаја у минути [krpm], а физички представља меру угаоне брзине осовине.



- Универзални мерни инструмент предвиђен за мерење напона једносмерне струје, мерење фреквенције наизменичне струје, и мерење отпорности;
- Један пар пипалица за универзални мерни инструмент;
- Помоћни кабал са крокодилским прикључцима;
- Одвијач за подешавање потенциометара;
- Експериментална макета; и
- Оловни акумулатор називног напона 6 V.

Опис експерименталне макете

Експериментална макета састоји се из пара описаних електричних машина, које су повезане у електрично коло као што је приказано на слици 2а. Машина се понашају као мотор, односно генератор што је указано ознакама „М“, односно „Г“. У колу мотора, постоји напонска батерија (оловни акумулатор) називног напона $\epsilon_B = 6\text{ V}$. Батерија се може искључити из кола помоћу прекидача батерије Π_B . Десно од прекидача, постоји напонски регулатор K чији се излаз може сматрати идеалним напонским извором, чији се напон подешава потенциометром² R_B . Са друге стране, на страни генератора постоји променљиви потрошач отпорности R_P . Потрошач се доводи на прикључке генератора преко потрошачког прекидача Π_P . За мерење напона мотора, генератора и потрошача могу се користити прикључци означени са M , G , и P , редом, при чему је други мерни крај заједнички и означен са COM (енг. *common*). Прикључци обележени са $A1$ и $A2$ су предвиђени за прикључивање амперметра који мери струју ротора.



Слика 2: Шема експерименталне поставке.

За мерење обртне брзине осовине, n , користи се фотопрекидач повезан у коло као што је приказано на слици 2б. Са једне стране фотопрекидача се налази светлећа диода, LED, која се напаја из батерије на макети, док је са друге стране фотоосетљиви елемент. Када светлост није механички прекинута у процепу, фотоосетљиви елемент је обасјан, а прекидач $\Phi\Pi$ је у затвореном стању. Када се механички укине пролазак светлости кроз процеп тада се прекидач $\Phi\Pi$ понаша као отворен. У реализованом колу то доводи до импулсног напона на отпорнику R_f чија је фреквенција једнака фреквенцији прекидања. Та фреквенција се може мерити универзалним мерним инструментом, конфигурисаним за мерење фреквенције, који се повезује између прикључака обележених са Φ и COM . Важно је нагласити да су COM прикључцима сликама 2б и 2а кратко спојени и изведени на исти прикључак на макети. На осовини која је повезана између мотора и генератора постављена је препрека која једном по окрету осовине пролази проз процеп у фотопрекидачу. На основу тога, могуће је мерити обртну брзину мотора.

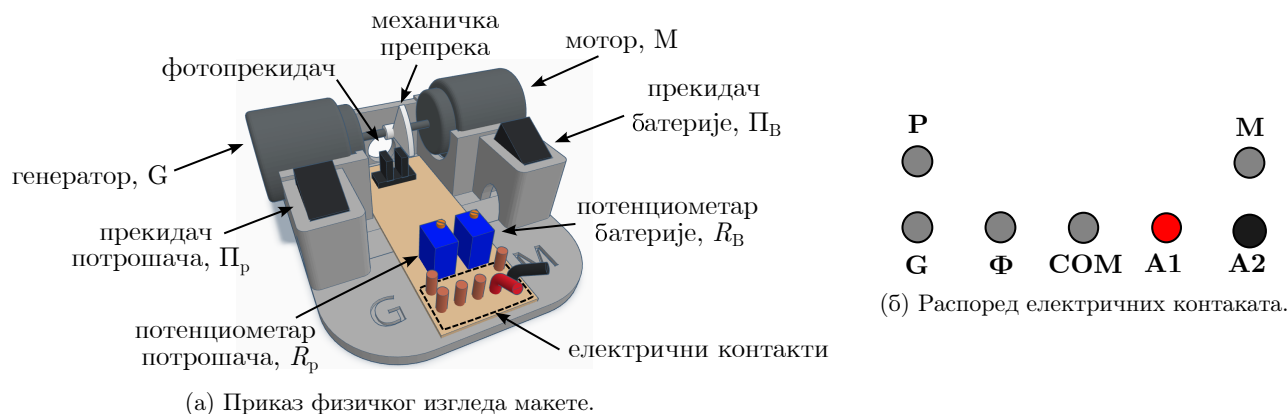
Конструкција макете

На слици 3а приказан је физички изглед макете. На тој слици су означене све релевантне компоненте које су поменуте у претходном одељку. На кућиштима потенциометара налазе се завртњи чијим се окретањем помоћу

²Потенциометар је отпорник са подесивим средњим изводом, односно са трећим изводом који „клизи“ по отпорнику тиме га делећи на два дела



одвијача мења положај клизача потенциометра. Потенциометар се из једног у други крајњи положај премешта након 20 пуних окрета. Прекидачи су у затвореном стању (провode електричну струју) када је спуштен крај прекидача означен као „I“, док су у отвореном стању (не проводе електричну струју) када је спуштен крај означен са „O“. На слици је означено и место електричних контаката на којима треба мерити одговарајуће физичке величине, одговарајуће конфигурисаним инструментима. На слици 3б приказан је распоред електричних контаката. Контакти за прикључивање амперметра, **A1** (црвене боје) и **A2** (црне боје), изведени су са бананским утикачима који се могу прикључити директно у одговарајуће контакте универзалног мерног инструмента конфигурисаног за мерење јачине струје, остали контакти изведени су на проводним стубићима на којима је могуће остварити директан контакт пипалицама мерног инструмента, или помоћу кабла са крокодилским прикључком.



Слика 3: Уз физички опис макете.

Важне Техничке Напомене:

- Постојећи напонски регулатор поседује у себи заштиту од прегревања и превелике струје. Уколико се у колу брзо смањи струја мотора без другог утицаја, то би могло да значи да се активирала заштитна од прегревања. Ово се практично дешава уколико је струја мотора велика (оквирно већа од 1 А). Уколико дође до укључења заштите, треба угасити прекидач батерије, расхладити регулатор (нпр. дувањем у њега), и наставити са мерењем. Да би се избегло укључење заштите, препорука је да се мерења обављају брзо по укључењу батерије, а да се одмах након читавања вредности она искључи из кола. Будући да регулатор може да се загреје до високе температуре, **Не додиривати регулатор.**
- Механичка препрека се ротира великом брзином. Водити рачуна да ништа не долази у контакт са том препреком. А нарочито **Не додиривати препреку током рада макете.**
- У току рада, нарочито при великим брзинама окретања осовине мотора, треба очекивати да се може осетити мирис уља из мотора.
- Акумулатор се може повезати помоћу напојног кабла који се налази на задњој стани макете, на чијим крајевима се налазе папучице аутобусне. Папучице се могу навући на контакте акумулатора, и то црвени кабал са црвеном папучица на црвени контакт акумулатора, а црни кабал са плавом папучицом на црни контакт акумулатора.
Строго водити рачуна да не дође до погрешног повезивања акумулатора, иначе, постоји могућност да макета прегори!
- Неки од мерних инструмената које користите имају опцију аутоматског искључивања (АРО – *Auto Power-Off*). Уколико се инструмент аутоматски укључи, треба да поново укључити окретањем окретног преклопника у искључено стање (OFF), па затим враћањем на одговарајући положај.
- Водити рачуна да се користе одговарајући прикључци инструмента за мерење струје, напона и фреквенције; као и да је одговарајући мерни опсег подешен помоћу окретног преклопника, или притисцима на тастер Range.



- Конфигурисање инструмента за мерење фреквенције обавља се постављањем окретног преклопника на подешавање означено са Hz, или као друга сродна изведена јединица (kHz, 10 MHz и сл.). Том приликом, уколико та величина дели исти положај преклопника са неким другим мерењем (нпр. мерењем напона), одговарајући опсег се може одабрати притиском на тастер **Select** који је обично исте боје као секундарна ознака.
- Током мерења биће потребно подешавати неки од потенциометара истовремено док се мери нека величина у колу. Због овога је на располагању помоћни кабал са крокодилским прикључцима. Треба да се искористи тако да највише олакша поступак мерења.

Задатак 1 – Особине генератора и губици у систему (3 поена)

У овом задатку, мере се карактеристике машине када се користи као неоптерећени генератор, и процењују се Цулови и механички губици у систему. Механичке губитке у систему сматрати линеарном функцијом³ обртне брзине $P_{\text{mg}} = \alpha n + \beta$. Мери се индукована електромоторна сила генератора, ϵ_{ind} у функцији осовинске брзине, n , теоријски описана изразом (1). Брзина окретања осовине мења се избором напона мотора одговарајућим потенциометром. У овој тачки, истим мерним инструментом треба мерити напон на прикључцима генератора, брзину ротације осовине, и напон мотора на начин како је то описано раније. Другим инструментом треба пратити само струју мотора.

- Помоћу универзалног мерног инструмента, при отвореним прекидачима батерије и потрошача, измерити отпорности намотаја ротора мотора, R_M , и намотаја ротора генератора, R_G . Водити рачуна о томе да је отпорност жица за повезивање инструмента упоредива са отпорношћу која се мери. Проценити одговарајуће грешке мерења.
- Потрошач искључити из кола, а батерију прикључити у коло помоћу одговарајућих прекидача.
- Помоћу одговарајућег потенциометра, варирати услове мотора тако да се постиже обртна брзина у 5 приближно једнако размакнутих тачака у оквирном опсегу $5 \text{ krpm} \leq n \leq 10 \text{ krpm}$ (не мора бити егзактно). Обртну брзину мерити помоћу прикључака фотопрекидача.
- За сваку од обртних брзина, измерити фреквенцију фотопрекидача f , напон мотора U_M , струју мотора I_M , и напон генератора U_G . Проценити грешке свих мерених величина.
Напомена. *Водити рачуна да природна варијабилност мерених величина значи да правило „пола подеока“ не мора бити адекватно!*
- Цртањем одговарајућег графика и његовом интерпретацијом, израчунати коефицијент K_e , и проценити његову грешку.
- Цртањем одговарајућег графика, израчунати коефицијенте α и β и проценити њихове грешке.

Прејорука. Обртну брзину осовине изразити у хиљадама обртаја у минути [krpm], снаге изразити у миливатима [mW], струје изразити у милиамперима [mA] а напоне у основној јединици. Све коефицијенте онда изразити у одговарајућим јединицама.

Задатак 2 – Покретачке особине машине (5 поена)

У овом задатку, треба експериментално одредити моментну константу мотора, дефинисану у изразу (2), и проценити одговарајућу грешку. На основу резултата мерења потребно је нацртати график моментне карактеристике мотора, а затим је упоредити са теоријским моделом.

- Одржавати напон мотора на вредности $U_M = (1,50 \pm 0,05) \text{ V}$. Струја ротора мотора, при константном напону, може се варирати избором отпорности потрошача у опсегу $1 \Omega < R_p < 10 \Omega$ када је он прикључен у коло. Варирањем отпорности потрошача треба варирати обртну брзину осовине n у пет приближно једнако размакнутих тачака. Обртни момент мотора M треба индиректно израчунати на основу биланса снаге за мотор. Проценити одговарајуће грешке.

³Снага губитака се моделује у опсегу обртних брзина од интереса, што значи да коефицијенти α и β , сами по себи, немају физичког смисла.



- (б) Нацртати одговарајући график, и његовом интерпретацијом проценити вредност моментне константе мотора K_m . Проценити одговарајућу грешку.

Задатак 3 – Процена моментне карактеристике мотора (5 поена)

Моментна карактеристика мотора је једна од његових основних особина, а представља зависност обртног момента од обртне брзине осовине, у облику $M = M(n)$. На основу резултата мерења потребно је нацртати график моментне карактеристике мотора, а затим је упоредити са теоријским моделом. Треба користити и резултате мерења из претходног задатка.

- (а) Користећи модел мотора приказан на слици 1б, извести теоријски модел моментне карактеристике мотора, на чијим прикључцима је постављена идеална батерија напона U_M . У једнакости треба да фигуришу коефицијенти K_e , K_m , отпорност ротора R , и напон на прикључцима мотора U_M .
- (б) Нацртати теоријске графике карактеристике машине $M = M(n)$, за оба различита напона мотора $0 < U_{M1} < U_{M2}$ на истом дијаграму.
- (в) Поновити мерење из другог задатка за $U_M = (1,25 \pm 0,05) V$. На основу добијених резултата, нацртати графике моментних карактеристика мотора за $U_M = 1,5 V$, односно $U_M = 1,25 V$, **на истом папиру**.
- (г) Израчунати коефицијенте правца нацртаних карактеристика, уз процену одговарајућих грешака, и добијене резултате упоредити са теоријским очекивањем одређеним тачки (а). Објаснити да ли су теоријски и експерименталан резултат сагласни у оквиру грешке мерења.



Решење: Електрична машина за једносмерну струју

Задатак 1 – Особине генератора и тубици у систему

- (а) Пошто се мери мала отпорност неопходно је узети у обзир и отпорност пипалица инструмента. Отпорност пипалица се мери кратким спајањем мерних контаката чиме се добија отпорност $R_0 = 0,2 \Omega$, док се за грешку ове величине може усвојити вредност половине најмањег подеока дигиталног инструмента $\Delta R_0 = 0,05 \Omega$. Када се помоћу пипалица измери отпорност мотора добија се резултат $R_M^* = 0,7 \Omega$. Резултат мерења отпорности мотора је онда $R_M = R_M^* - R_0 = 0,5 \Omega$ а апсолутна грешка се налази индиректно као $\Delta R_M = \Delta(R_M^* - R_0) = \Delta R_M^* + \Delta R_0 = 0,1 \Omega$. Коначно се записује $R_M = (0,5 \pm 0,1) \Omega$, док се на сличан начин налази $R_G = (0,5 \pm 0,1) \Omega$ (вредности могу варирати зависно од конкретног примерка машине али ред величине вредности треба да остане исти). **[0,5п]**
- (в–ђ) Фреквенција добијена са фотопрекидача варира током мерења. Добра процена грешке мерења износи око $\Delta f = 5 \text{ Hz}$. Грешка обртне брзине, изражене у хиљадама обртаја у минути, износи $\Delta n = \frac{60 \cdot 5}{1000} \text{ krpm} = 0,3 \text{ krpm}$. На основу тога, треба заокружити вредност обртне брзине на једно децимално место. Грешка мерења струје мотора износи $\Delta I_M = 5 \text{ mA}$. *Објашњење одговарајућег начина на који се процењују грешке мерења вредности се са **[0,3п]**.* На сличан начин се могу проценити и грешке мерења напона мотора и генератора као $\Delta U_M = \Delta U_G = \Delta U = 0,05 \text{ V}$. Укупна механичка снага губитака у систему једнака је $P_{\text{mg}} = P_M - P_J = I_M U_M - I_M^2 R_M$, **[0,3п]** па је одговарајућа грешка мерења дата изразом $\Delta P_{\text{mg}} = I_M \Delta U_M + U_M \Delta I_M + 2 I_M R_M \Delta I_M$. Израчунавањем добијене су сиве колоне у табели 1, а мајорирањем и заокруживањем су дати коначни резултати.

	f [Hz]	n [krpm]	U_M [V]	I_M [mA]	U_G [V]	P [mW]	P_J [mW]	P_{mg} [mW]	ΔP_{mg} [mW]
1	90	5,4	1,18	350	0,90	413,00	85,75	327,25	20,84
2	100	6,0	1,32	360	1,04	475,20	90,72	384,48	21,648
3	110	6,6	1,40	368	1,11	515,20	94,80	420,40	22,2304
4	120	7,2	1,52	375	1,22	570,00	98,44	471,56	22,84
5	130	7,8	1,60	377	1,30	603,20	99,49	503,71	23,1056
6	140	8,4	1,72	385	1,41	662,20	103,76	558,44	23,768
7	150	9,0	1,85	399	1,50	738,15	111,44	626,71	24,7672
8	160	9,6	1,94	410	1,62	795,40	117,67	677,73	25,528
9	170	10,2	2,03	409	1,71	830,27	117,10	713,17	25,6552
10	180	10,8	2,14	417	1,81	892,38	121,72	770,66	26,2976

Табела 1: Резултати мерења напона отворене везе генератора и механичких губитака, вреднује се са **[0,5п]**.

Цртањем одговарајућих зависности добијају се графици приказани на слици 1.

На основу графика са слике 1а, одређивањем коефицијента правца на основу две неексперименталне тачке, одређује се $K_e = 0,165 \frac{\text{V}}{\text{krpm}}$. Одговарајућа грешка мерења може се проценити на основу израза за апсолутну

грешку коефицијента правца $\Delta K_e = K_e \left(\frac{\Delta U_B + \Delta U_A}{|U_B - U_A|} + \frac{\Delta n_B + \Delta n_A}{|n_B - n_A|} \right) \approx 0,165 \frac{\text{V}}{\text{krpm}} \left(\frac{0,1 \text{ V}}{0,8 \text{ V}} + \frac{0,6 \text{ krpm}}{5,4 \text{ krpm}} \right) =$

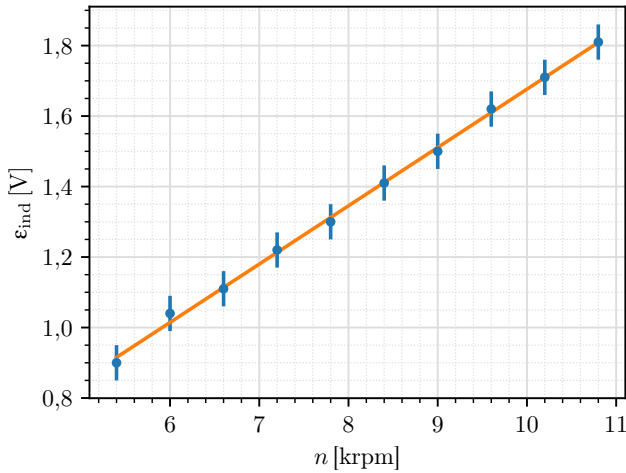
$0,04 \frac{\text{V}}{\text{krpm}}$ (мајорирано), па је коначно $K_e = (0,16 \pm 0,04) \frac{\text{V}}{\text{krpm}}$ **[0,35п]**.

На основу графика са слике 1б, одређивањем коефицијента правца и одсечка на ординати, одређују се коефицијенти $\alpha = 75,191 \frac{\text{mW}}{\text{krpm}}$, и $\beta = -168,18 \text{ mW}$. На основу израза за грешку коефицијента правца има се

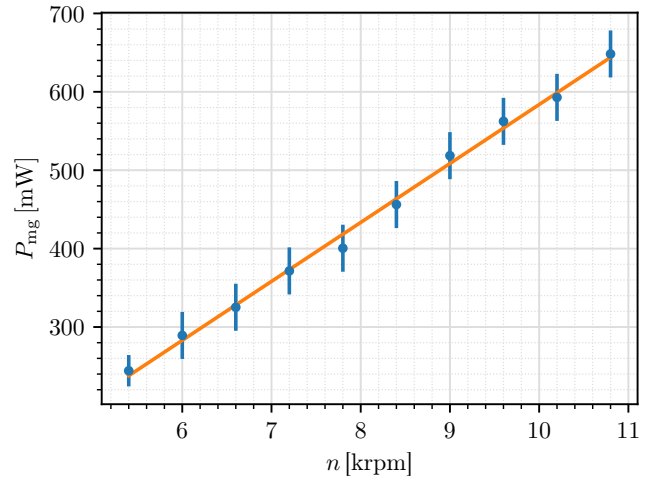
$\Delta \alpha = \alpha \left(\frac{\Delta P_{\text{mg,A}} + \Delta P_{\text{mg,B}}}{|P_{\text{mg,A}} - P_{\text{mg,B}}|} + \frac{\Delta n_A + \Delta n_B}{|n_A - n_B|} \right) = 75,191 \frac{\text{mW}}{\text{krpm}} \cdot \left(\frac{50 \text{ mW}}{400 \text{ mW}} + \frac{0,6 \text{ krpm}}{5,4 \text{ krpm}} \right) \approx 20 \frac{\text{mW}}{\text{krpm}}$ (мајорирано),



па је $\alpha = (80 \pm 20) \frac{\text{mW}}{\text{krpm}}$ [0,35п]. Грешку одсечка можемо проценити као максималну грешку ординате, односно $\Delta\beta = 30 \text{ mW}$ па је $\beta = (-120 \pm 30) \text{ mW}$ [0,35] [0,3п].



(а) Зависност индуковане електромоторне силе генератора од осовинске обртне брзине [0,35п]



(б) Зависност укупне снаге механичких губитака од осовинске обртне брзине [0,35п]

Слика 1: Графички приказ резултата и одређивање оптималних правах.

Задатак 2 – Покрећачке особине машине

Величине које могу да се непосредно мере помоћу дате апаратуре су U_M , I_M , U_G , R_p и n . Напон мотора треба одржавати константним, а угаона брзина n се мери непосредно. На основу осталих параметара потребно је посредно израчунати момент мотора. Момент мотора, односно генератора, повезан је са механичком снагом мотора изразом $P_m^{(M)} = M\omega$, где је ω угаона брзина осовине. На основу закона одржања енергије електрична снага предата мотору претвара се у укупну механичку снагу која се предаје осовини, и Џулове губитке у намотају ротора, што је исказ биланса снаге за мотор, $U_M I_M = P_{\text{meh}} + I_M^2 R$. На основу тог израза, момент силе мотора може се индиректно одредити као

$$M = \frac{U_M I_M - I_M^2 R}{\omega}. \quad [1,5\text{п}] \quad (1)$$

На основу израза (1) одређује се израз за индиректну апсолутну грешку мерења обртног момента као

$$\Delta M = M \left(\frac{U_M \Delta I_M + I_M \Delta U_M + 2I_M R_M \Delta I_M + I_M^2 \Delta R}{U_M I_M - I_M^2 R_M} + \frac{\Delta n}{n} \right), \quad [0,5\text{п}] \quad (2)$$

(Поени додељени у прелазне две ставке множе се са 0,5 у случају да нису узети у обзир Џулови губици.)

Мерењем добијени су резултати приказани у табели 2

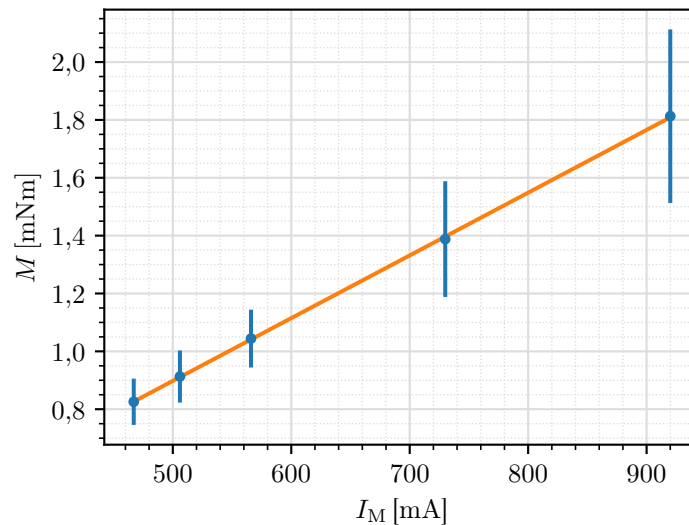
Одређивањем оптималне праве помоћу две неексперименталне тачке одређује се коефицијент правца, чији је смисао моментна константа мотора, $K_m = 2,169 \frac{\text{mNm}}{\text{mA}}$. Грешка мерења коефицијента правца може се рачунати само на основу грешака по ординати, будући да су грешке по апсциси занемарљиве. Тиме се налази $\Delta K_m =$

$$K_m \frac{\Delta M_B + \Delta M_A}{|M_B - M_A|} = \frac{0,33 \text{ mNm}}{0,9} = 0,8 \frac{\text{mNm}}{\text{mA}}, \text{ па се коначни резултат може записати у облику } K_m = (2,2 \pm 0,8) \frac{\text{mNm}}{\text{mA}}. \quad [0,5\text{п}]$$



	f [Hz]	n [krpm]	R_p [Ω]		I_M [mA]	U_G [V]	I_G [mA]	M [mNm]		ΔM [mNm]	
1	114	6,84	6,8	8,0	467	0,85	106,25	0,8257	0,83	0,0750	0,08
2	110	6,60	6,6	6,0	506	0,83	138,33	0,9129	0,91	0,0865	0,09
3	105	6,30	6,3	4,0	566	0,81	202,50	1,0441	1,04	0,1057	0,10
4	95	5,70	5,7	2,0	730	0,61	305,00	1,3881	1,39	0,1686	0,20
5	84	5,04	5,0	1,0	920	0,42	420,00	1,8129	1,81	0,2713	0,30

Табела 2: Резултати мерења обртног момента за $U_M = 1,50$ V. [2п] (Поени се додељују за адекватну мерну методологију и шезнику)



Слика 2: Зависност израчунатог обртног момента од струје ротора [0,5п].

Задатак 3 – Процена моменћине карактеристике мотора

- (а) Момент ротора одређен је изразом $M = K_m I$, а струја ротора одређена је другим Кирхофовим законом за контуру која „пролази“ кроз батерију и намотај ротора као $I = \frac{U_M - \epsilon_{\text{ind}}}{R}$, при чему је $\epsilon_{\text{ind}} = K_e n$ па се има тражена веза,

$$M = \frac{K_m}{R} (U_M - K_e n). \quad (3)$$

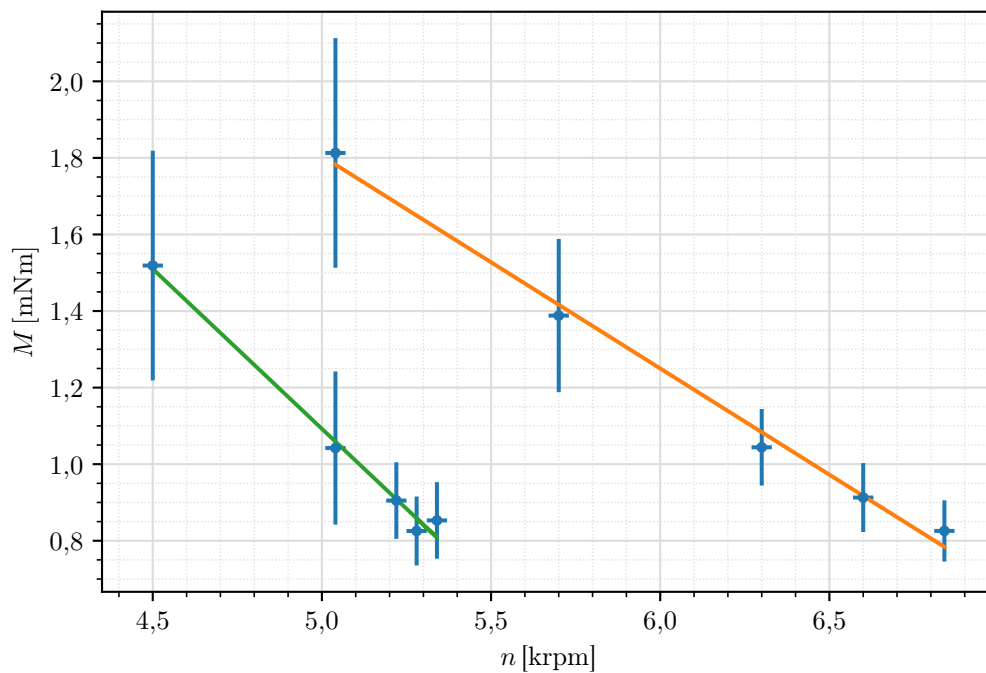
За различите напоне мотора, коефицијент правца остаје исти, док се мења одсечак који износи $\frac{K_m U_M}{R}$. и стога је сразмеран напону мотора. Скица треба да показује да су карактеристике паралелне, померене једна у односу на другу. Теоријско очекивање коефицијента правца је $k = -\frac{K_m K_e}{R}$. [2п]

- (б) Понављањем мерења, одржавајући напон мотора на траженој вредности, добијају се резултати мерења приказани у табели 3. Тражени график приказан је на слици ???. Коефицијенти правца одређују се помоћу две неексперименталне тачке на већ раније описани начин добијају се резултати $k_{(1,5)} = (-0,5 \pm 0,2) \frac{\text{mNm}}{\text{krpm}}$ и $k_{(1,25)} = (-0,8 \pm 0,3) \frac{\text{mNm}}{\text{krpm}}$ [1п]. Теоријско очекивање је дато резултатом претходне тачке као $k = -0,704 \frac{\text{nNm}}{\text{krpm}}$ док се грешка тог резултата може одредити према изразу $\Delta k = k \left(\frac{\Delta K_m}{K_m} + \frac{\Delta K_e}{K_e} + \frac{\Delta R}{R} \right) = 0,6 \frac{\text{mNm}}{\text{krpm}}$ (мајорирано), па је теоријско предвиђање $k = (-0,7 \pm 0,6) \frac{\text{nNm}}{\text{krpm}}$. [0,5п] На основу добијених резултата, закључује



	f [Hz]	n [krpm]	R_p [Ω]	I_M [mA]	U_G [V]	I_G [mA]	M [mNm]	ΔM [mNm]			
1	88	5,28	5,3	9,0	444	0,74	81,67	0,8255	0,83	0,0909	0,09
2	89	5,34	5,3	7,0	470	0,71	101,43	0,8531	0,85	0,0967	0,10
3	87	5,22	5,2	5,0	493	0,70	140,00	0,9050	0,91	0,1055	0,10
4	84	5,04	5,0	3,0	570	0,59	196,67	1,0422	1,04	0,1333	0,20
5	75	4,50	4,5	1,0	888	0,26	260,00	1,5188	1,52	0,2865	0,30

Табела 3: Резултати мерења обртног момента, при $U_M = 1,25$ V. [1п]



Слика 3: Дијаграм моментних карактеристика мотора. [0,5п]

се да су резултати $k_{(1,25)}$, $k_{(1,5)}$ и теоријски резултат k , једнаки у оквиру грешака мерења.