

# ЕЛЕКТРИЧНИ МОТОРИ

## др Мирослав Бјекић

---

### Садржај

1	Увод.....	2
1.1	Подела електричних мотора .....	2
1.2	Електромеханичко претварање енергије .....	4
1.3	Демонстрација електромеханичког претварања енергије.....	4
2	Мотори једносмерне струје.....	5
2.1	Опис, конструкција и основни делови .....	5
2.2	Принцип рада .....	5
2.3	Огледи у лабораторији .....	7
2.4	Примена .....	8
3	Асинхрони мотори.....	9
3.1	Принцип рада .....	9
3.1.1	Теслино обртно магнетно поље.....	9
3.2	Принцип рада .....	10
3.3	Опис, конструкција и основни делови .....	12
3.4	Примена .....	13
4	Синхрони генератори .....	14
4.1	Опис, конструкција и основни делови.....	14
4.1.1	Синхрони турбогенератор.....	14
4.1.2	Синхрони хидрогенератор .....	14
4.2	Принцип рада .....	15
4.3	Примена .....	15
4.4	Натписне плочице електричних мотора .....	16

# 1 Увод

## 1.1 Подела електричних мотора

**Електрична машина** је уређај који врши претварање електричне енергије у механичку (**електрични мотори**) или механичке у електричну (**електрични генератори**).

Већина електричних машина се може наћи и у моторном и генераторско режиму рада. Али, неке машине су због својих карактеристика предодређене да се више користе као генератори (нпр. синхрони генератори) или мотори (асинхрони мотори).

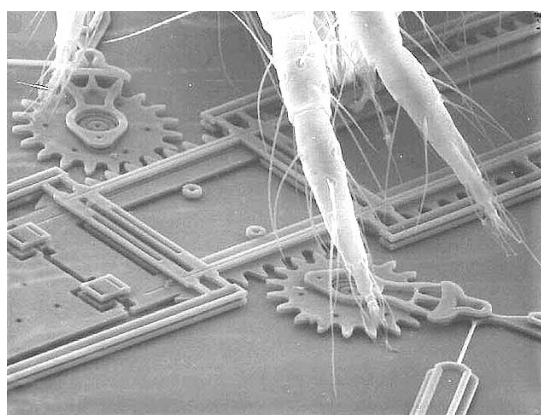
Постоји више подела електричних машина:

1. **Према току енергије:** електрични генератори и електрични мотори
2. **Према извору напајања:** једносмерне и наизменичне



Сл. 1.: Подела електричних мотора

3. **Према снази:** енергетске и машине малих снага – чија снага не прелази 1 kW (специјалне електричне машине). Мотори чија је снага мања од 50 W се називају микромотори. Док се код енергетских електричних мотора посебна пажња посвећује степену искоришћења, код малих мотора је најважнија тачност (позиционирања, брзине), динамика (нпр. брз одзив), стабилност рада... Специјални мотори се деле у зависности од тога да ли преносе снагу (сервомотори), информацију (мерачи угла/позиције, тахогенератори), жirosкопски (претварачи момента) и конвертори (напонски конвертори, појачавачи снаге).

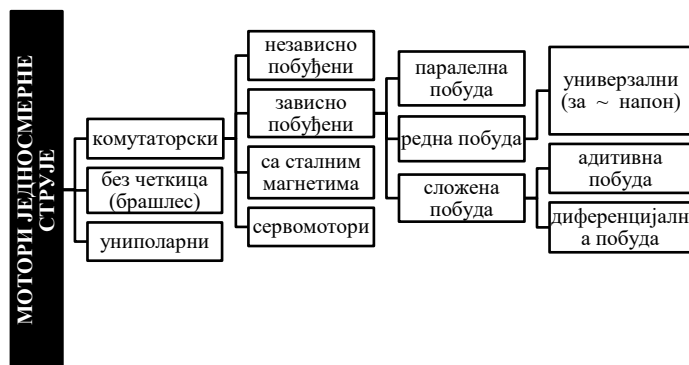


Сл. 2.: Микромашина (под микроскопом)



Сл. 3.: Статор синхроног хидрогенератора

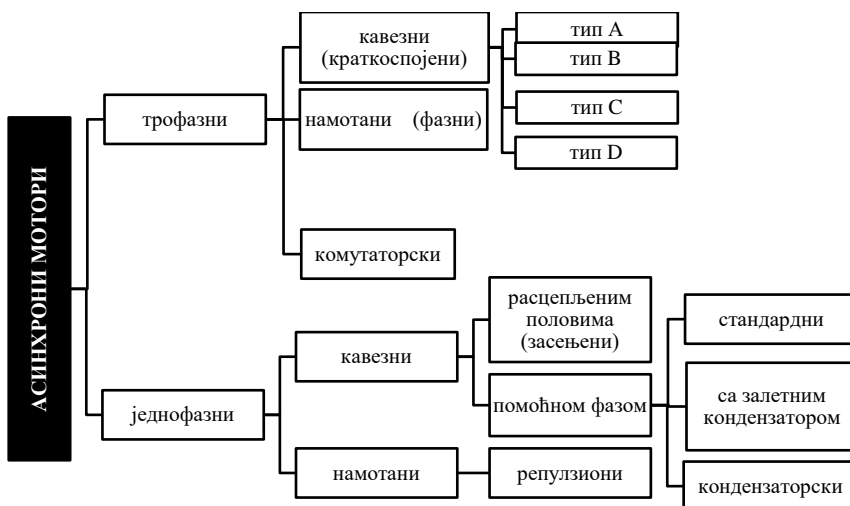
#### 4. Према намени



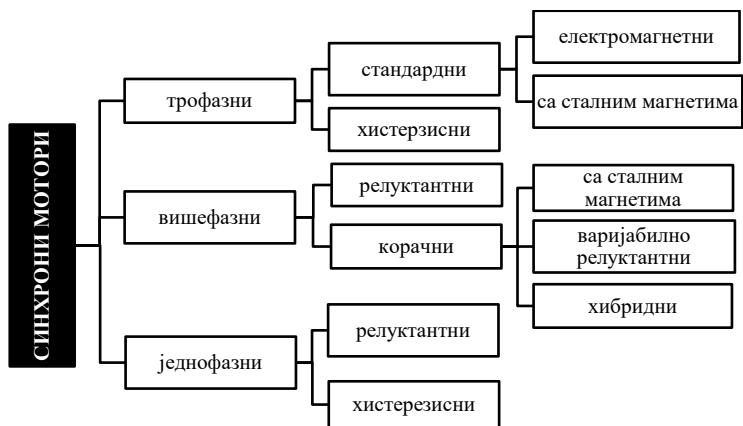
Сл. 4: Подела мотора једносмерне струје



Сл. 5: Подела мотора наизменичне струје



Сл. 6: Подела асинхронних мотора



Сл. 7: Подела синхронних мотора

Битно је напоменути да ову поделу треба условно прихватити. Један тип мотора по својој конструкцији припада једној врсти, док нпр. по начину прикључења другој. Тако да универзални мотор по конструкцији је мотор једносмерне струје са редном побудом, док се прикључује на једнофазни наизменични напон. ...

## 1.2 Електромеханичко претварање енергије

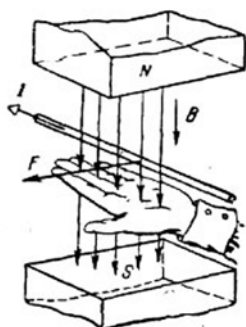
За објашњење претварања електричне енергије у механичку и механичке у електричну потребно је знати физичке принципе на које се она може извести. Електричне машине користе принцип да **на проводник који се налази у магнетном пољу делује механичка сила.**

Значи, мотор мора да има два основна дела: **индуктор** –чија је функција да обезбеди магнетно поље и **индук** – проводници:

- на које делује механичка сила (уколико кроз њих протиче електрична струја) или
- у којима се индукује електромоторна сила (напон) уколико се крећу и пресецају линије магнетног поља индуктора.

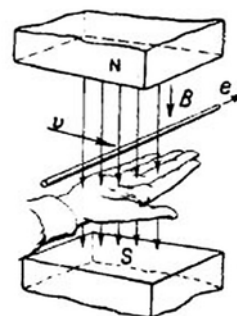
Слика 7 приказује начин на који је могуће одредити смер деловања механичке силе на проводник са струјом који се налази у магнетном пољу.

Слика 8 приказује начин одређивања електромоторне силе (напона) који се индукује у проводнику ако пресеца линије магнетног поља.



Сл. 8: Правило леве руке за одређивање смера деловања електромагнетне силе  $F$

$$F = B I l \quad [\text{N}]$$



Сл. 9: Правило десне руке за одређивање смера индуковане електромоторне силе  $e$

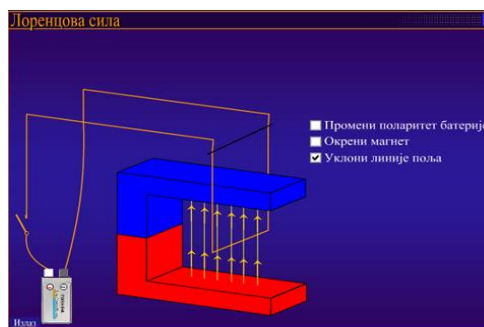
$$e = B l v \quad [\text{V}]$$

## 1.3 Демонстрација електромеханичког претварања енергије



<http://www.empr.ftn.kg.ac.rs/3%20OPSTE/opste02/GoranStojkovicOE1/Elmag.swf>

Сл. 10 Демонстрација деловања силе на проводник са струјом у магнетном пољу



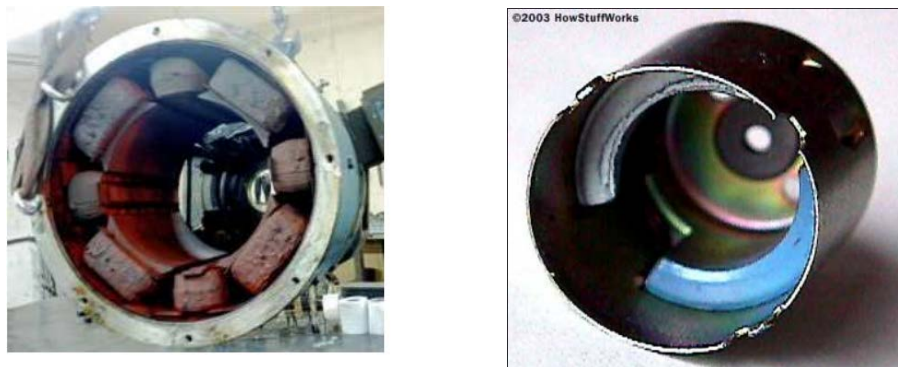
<http://www.empr.ftn.kg.ac.rs/3%20OPSTE/opste02/GoranStojkovicOE1/Lorenc.swf>

Сл. 11 Демонстрација деловања силе на проводник са струјом у магнетном пољу

## 2 Мотори једносмерне струје

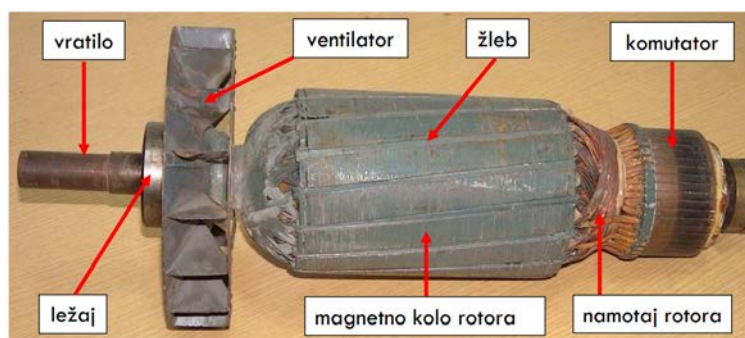
### 2.1 Опис, конструкција и основни делови

Мотори једносмерне струје имају статор у облику истакнутих полова са електромагнетима или сталним магнетима. Статор ствара стално магнетно поље у коме се налази ротор – индукт.



Сл. 12 Различити облици статора машине ЈС

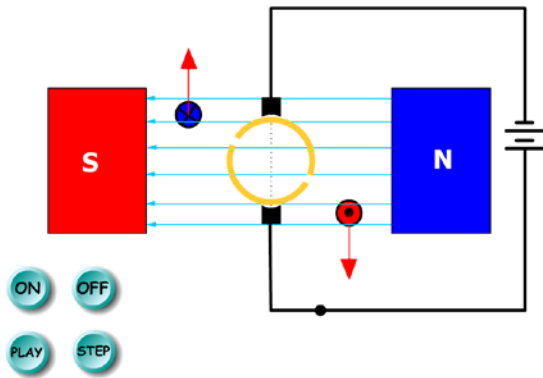
Ротор је ваљкастог облика, ожлебљен са спољашње стране у коме се налазе навоји. Навоји су повезани са ламелама комутатора на које налажу графитне четкице.



Сл. 13 Главни делови ротора мотора ЈС

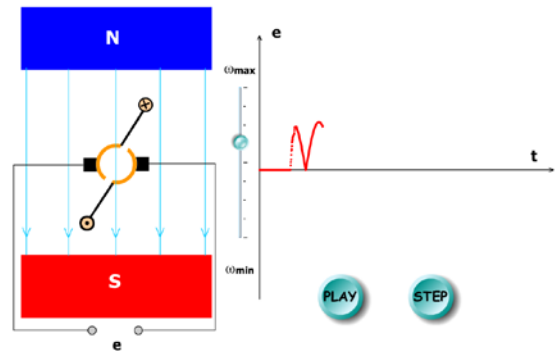
### 2.2 Принцип рада

**Струја у навоје индукта се доводи преко четкица које налажу на комутатор (коллектор). Намотаји ротора су тако намотани да обезбеђују да струја кроз проводнике индукта под истим углом има увек исти смер. Струја у проводницима се мења у тренутку када проводници навојка пролазе кроз неутралну раван између два пола. Силе које се јављају у проводницима сварају спрег момента који покреће мотор у жељеном смеру.**



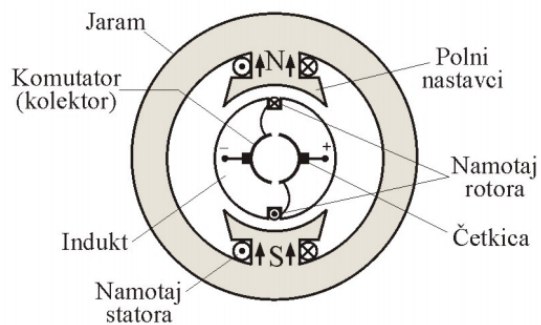
<http://www.empr.ftn.kg.ac.rs/4%20JM/jm01/uloga%20komutatora%20D.swf>

Сл. 14 Објашњење функције комутатора код мотора ЈС

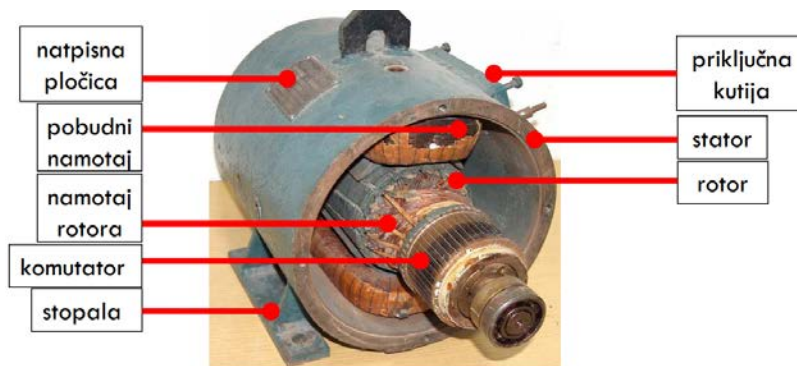


<http://www.empr.ftn.kg.ac.rs/4%20JM/jm01/momenat%20masine%20JS.swf>

Сл. 15 Објашњење принципа индуковања емс код генератора ЈС



Сл. 16 Попречни пресек мотора ЈС са приказаном једним навојем постављеним у два жлеба на ротору



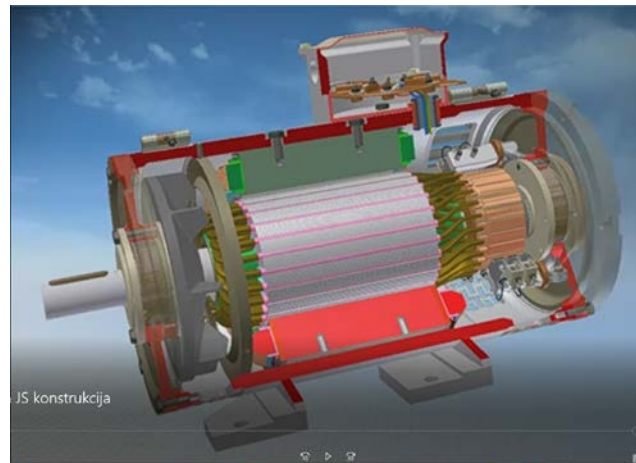
Сл. 17 Двополна машина једносмерне струје



Сл. 18 Различити облици статора и ротора машине једносмерне струје



Сл. 19 Animacija opisa konstrukcije, principa rada i primene motor JS sa prevodom  
<http://www.empr.ftn.kg.ac.rs/animacije/DC%20Motor%2C%20How%20it%20works.mp4>



Сл. 20 Animacija konstrukcije motora JS  
[https://get.google.com/albumarchive/109167109813548371551/album/AF1QipN5E5WWqhh030\\_tcLYdxFtAi4Gc0y6zDhR0FSa/AF1QipOUCmjQhXm-912uiPOZeS09VERs00PjTK3tqj8](https://get.google.com/albumarchive/109167109813548371551/album/AF1QipN5E5WWqhh030_tcLYdxFtAi4Gc0y6zDhR0FSa/AF1QipOUCmjQhXm-912uiPOZeS09VERs00PjTK3tqj8)

### 2.3 Огледи у лабораторији



[https://get.google.com/albumarchive/109167109813548371551/album/AF1QipNKxao7IovPvjTsgN5rY7MjBqLX-L8Z\\_qhIMJgb/AF1QipOs6Y8nOHTJgSSXtXdP36GZ4VKA9TzZBtNhth2e](https://get.google.com/albumarchive/109167109813548371551/album/AF1QipNKxao7IovPvjTsgN5rY7MjBqLX-L8Z_qhIMJgb/AF1QipOs6Y8nOHTJgSSXtXdP36GZ4VKA9TzZBtNhth2e)

Сл. 21 Макета за разумевање улоге комутатора код мотора JC



[https://get.google.com/albumarchive/109167109813548371551/album/AF1QipNKxao7IovPvjTsgN5rY7MjBqLX-L8Z\\_qhIMJgb/AF1QipO\\_rfsJjRb6vitijsow7uD2Wu1UJGo8aKvKjhr](https://get.google.com/albumarchive/109167109813548371551/album/AF1QipNKxao7IovPvjTsgN5rY7MjBqLX-L8Z_qhIMJgb/AF1QipO_rfsJjRb6vitijsow7uD2Wu1UJGo8aKvKjhr)

Сл. 23 Најједноставнији униполарни мотор



[https://get.google.com/albumarchive/109167109813548371551/album/AF1QipNKxao7IovPvjTsgN5rY7MjBqLX-L8Z\\_qhIMJgb/AF1QipPDF9\\_WZ5AfL1wmEZYv38WMPct7D8tHiPNBzh](https://get.google.com/albumarchive/109167109813548371551/album/AF1QipNKxao7IovPvjTsgN5rY7MjBqLX-L8Z_qhIMJgb/AF1QipPDF9_WZ5AfL1wmEZYv38WMPct7D8tHiPNBzh)

Сл. 22 Униполарни мотор



[https://get.google.com/albumarchive/109167109813548371551/album/AF1QipNKxao7IovPvjTsgN5rY7MjBqLX-L8Z\\_qhIMJgb/AF1QipPfMzR328BuOAKrh4i5aG6kbbN4a-y5Mi0RBsDr](https://get.google.com/albumarchive/109167109813548371551/album/AF1QipNKxao7IovPvjTsgN5rY7MjBqLX-L8Z_qhIMJgb/AF1QipPfMzR328BuOAKrh4i5aG6kbbN4a-y5Mi0RBsDr)

Сл. 24 Модел мотора JC

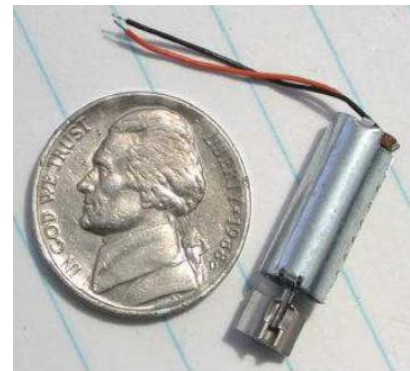
## 2.4 Примена



Сл. 25 Електрична вуча (тролејбуси, трамваји, метрои, коломotive)



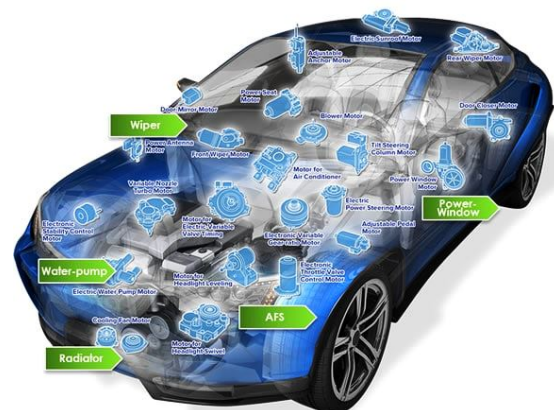
Сл. 26 Анласер (ел.покретач) 1,7 kW, 12 V



Сл. 27 Motor JS - u mob. telefonima  $P=0,1$  W



Сл. 28 2000 hp (1,47 MW) DC motor



Сл. 29 Motori u automobilu



## 3 Асинхрони мотори

### 3.1 Принцип рада

#### 3.1.1 Теслино обртно магнетно поље

Обртно магнетно поље је магнетно поље које настаје као резултат суперпозиције два или више магнетних поља идентичних фреквенција, али просторно и временски померених.

Обртно магнетно поље у трофазним наизменичним електричним машинама је проузроковано трофазним струјама које напајају три намотаја који су међусобно просторно померени за  $120^\circ$ . Обртно магнетно поље у монофазним наизменичним електричним машинама је проузроковано двофазним струјама које напајају два намотаја који су међусобно просторно померени за  $90^\circ$ .



Сл. 30 Макета помоћу које се уочава принципо развијања момента код асинхроне електричне машине  
<http://www.empr.ftn.kg.ac.rs/5%20AM/am01/AM%20demonstracija.swf>

Колумбово јаје

То је позната анегдота о великом морепловцу, чије је достигнуће од стране многих било омањавано и оспоривано тврђама да је свако могао да оствари то исто и да, према томе, његово стварње није ништа посебно. Нарав, једном дан је Колумбо седио за столом са мноштем шпанских племићина, један од њих је тада рекао: „Господине Колумбо, чак и да ваша висост није открила Америку, сигурно би се нашла нека друга особа која би то учинила“. На ово је Колумбо ништа није одговорио, само је затражио да му домену једно јаје.

Поставио га је на сто и рекао: „Господине, владите се да нико од вас није способан да учини да ово јаје стоји вертикално, без икаквог додатног помоћга, баш као што ја то могу да учиним“. Сви су покушали, али безуспешно. Када је јаје изникон враћено Колумбу, он је дословно рабано први крај о сто и поставио је онако како је замислио — вертикално. Након тога, многи су могли да ураде то исто. Ипак, сви присутни су остали затечени, и разумели шта је свим гестом хтео да каже — **никог није ништа учинио, свако може то исто да понови.**

По другој легенди, Колумбо је изговарајући морепловца за дуг и опасан пут, искористио трип са дијетом. Ова верија је и приказана у филму *Christopher Columbus: The Discovery*.

**ИЗРАЗ КОЛУМБОВО ЈАЈЕ ОНАЧАВА ЛАКО РЕШИВУ ЗАГОНЕТКУ КОЈА НА ПРВИ ПОГЛЕД ДЕЛУЈЕ НЕРЕШИВО.**

Теслино јаје

Др давас никоме није успело да без разабјања постави јаје вертикално, осим познатом научнику Николи Тесли. Дрдуше радило се о бакарном јајету које се валило у обртном магнетном пољу.

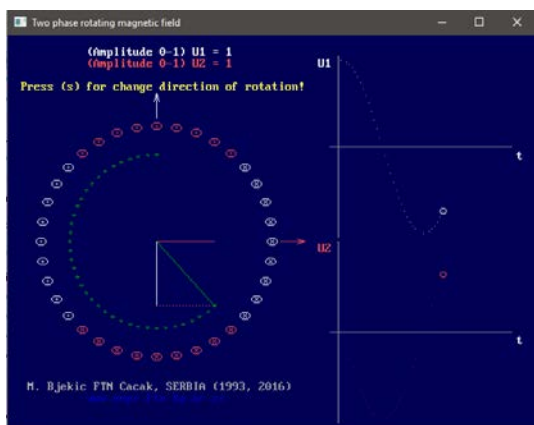
**ТАКВО БАКАРНО ЈАЈЕ СЕ НАЗИВА ТЕСЛИНО ЈАЈЕ.**

Свесна излоба 1893. године у Чикагу, посвећена објављивању 400 година од открића Америке, је била међународна излоба на коју је по први пут био слази излоба само за електрична достигнућа. То је био историјски догађај јер су Тесла и Бестингајде представили посеточица свој систем наизменичне струје осветљавајући целу излобу. Тесла је објаснио принципо обртног магнетског поља и ради асинхронног мотора изложивући дилемне при демонстрацији обртава бакарне јајета и постављања на врх. У лучу изложбе освешћено Колумбовом стварње, Америке.

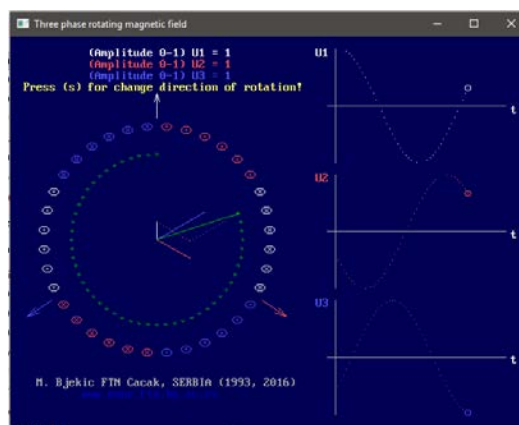
Сл. 31 <http://www.empr.ftn.kg.ac.rs/teslinojaje.html>

### 3.2 Принцип рада

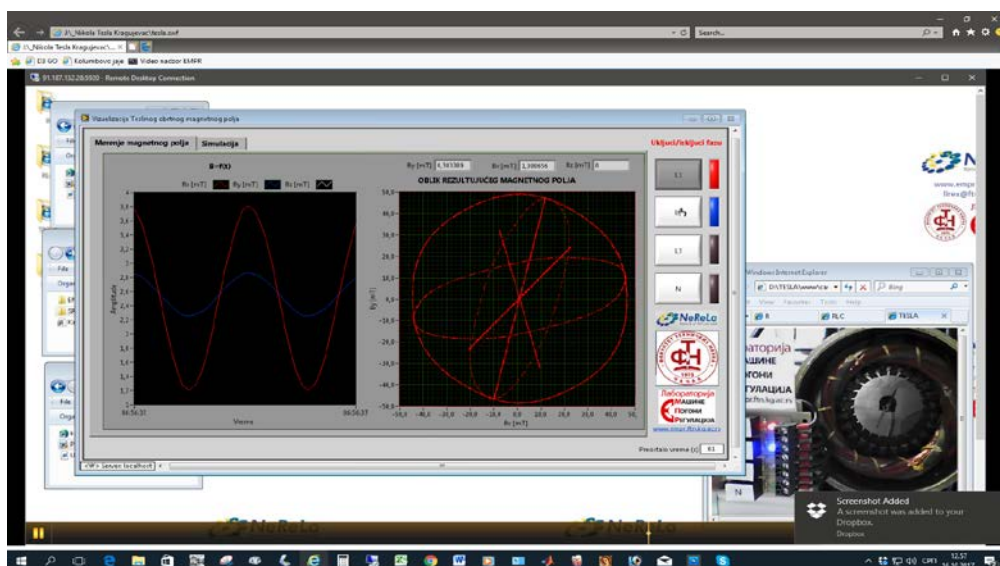
Статор трофазне асинхроне машине је у облику шупљег ваљка ожебљеног са унутрашње стране. У жлебове је постављен трофазни намотај кроз чије навоје се пропуштају трофазне наизменичне струје које стварају ОБРТНО ТЕСЛИНО МАГНЕТНО ПОЉЕ. У том пољу се налазе или намотаји ротора (намотан ротор) или проводне шипке (кратко спојен ротор). У проводницима се индукује електромоторна сила. Пошто су проводници кратко спојени, долази до протицања електричне струје. На те проводнике са струјом делује механичка сила која тежи да их обрће у смеру обртног поља. Машина се зове асинхрона јер је њена брзина обртања мања од брзине обртања обртног магнетног поља. Значи обрће се асинхронно у односу на поље. Разлика брзина се назива клизање. Изражава се у %. У радном режиму асинхроне машине клизање је реда 3-8%.



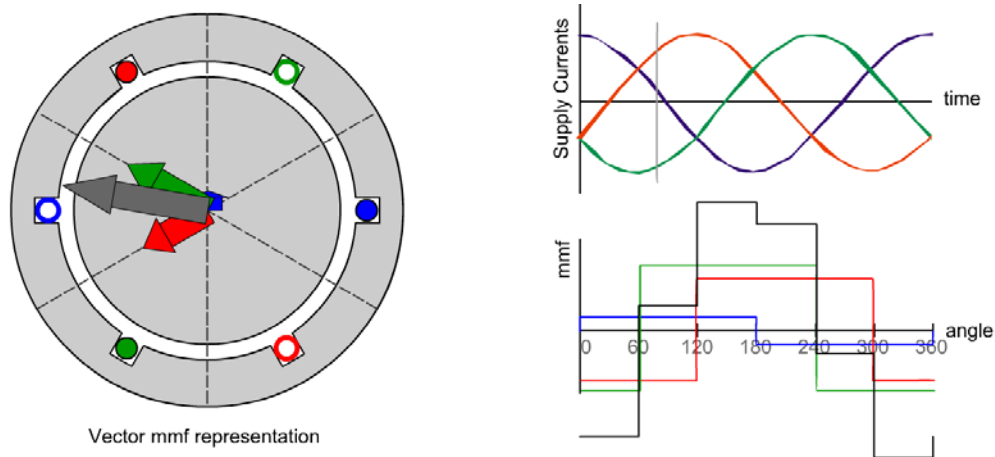
Сл. 32 Формирање двофазног обртног магн. поља  
<http://www.empr.ftn.kg.ac.rs/5%20AM/am01/Magenta%20polja/I.EXE>



Сл. 33 Формирање трофазног обртног магнетног поља  
<http://www.empr.ftn.kg.ac.rs/5%20AM/am01/Magenta%20polja/II.EXE>



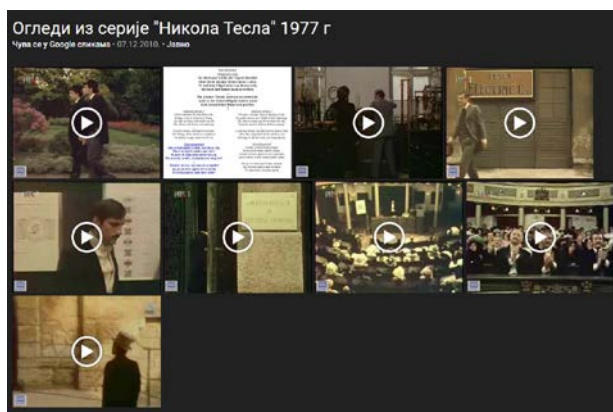
Сл. 34 Удаљени експеримент мерење и визуелизација магнетног поља трофазног асинхронног мотора  
Приступ експерименту се добија тражењем захтева на е-маил [mbjekic@gmail.com](mailto:mbjekic@gmail.com)



Vector mmf representation

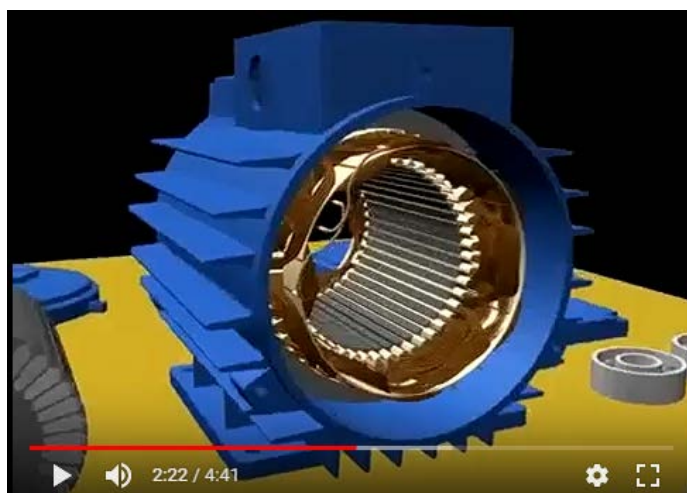
Сл. 35 Формирање трофазног обртног магнетног поља

<http://www.empr.ftn.kg.ac.rs/5%20AM/am01/Teslino%20obrtno%20magnetno%20polje.swf>



Сл. 36 Огледи из серије Никола Тесла

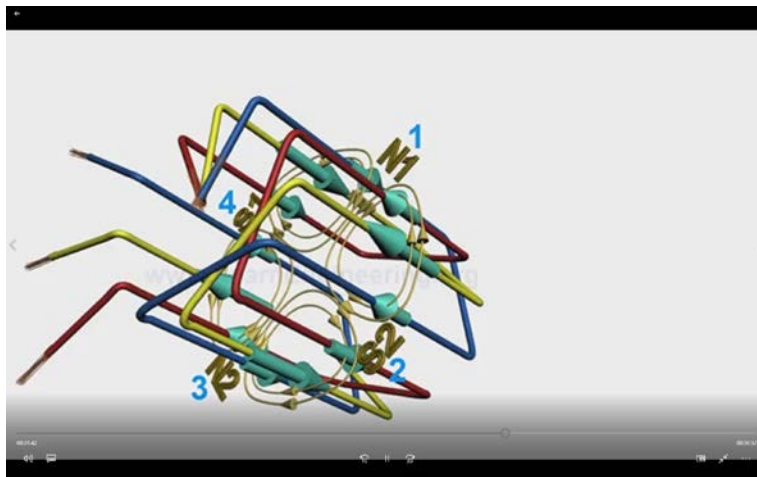
[https://get.google.com/albumarchive/109167109813548371551/album/AF1QipP8WZCT\\_AYwTARYuqPbuqHoK0W-5dmKCvDDeC3I](https://get.google.com/albumarchive/109167109813548371551/album/AF1QipP8WZCT_AYwTARYuqPbuqHoK0W-5dmKCvDDeC3I)



Сл. 37 Анимација конструкције асинхронног мотора

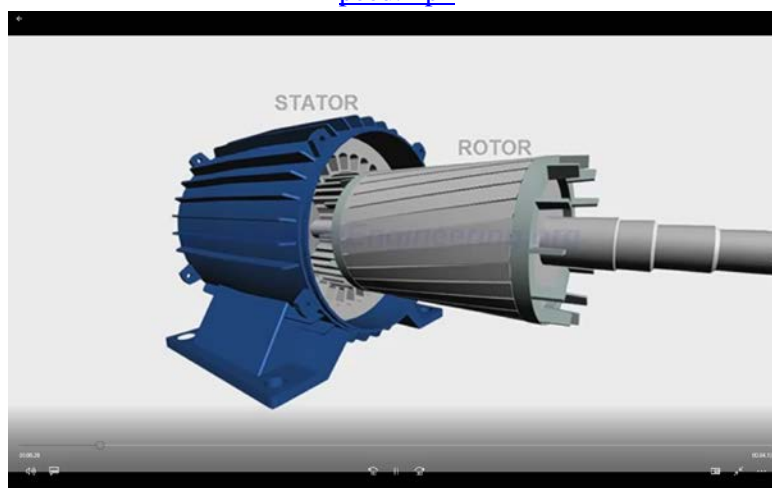
[https://get.google.com/albumarchive/109167109813548371551/album/AF1QipN5E5WWqhh030\\_tcLYdxFtAi4Gc0y6zDhR0FSa/AF1QipOCFOt-s0Xp0MjMyDRbe68yV2dnHBROiWYCOH8J](https://get.google.com/albumarchive/109167109813548371551/album/AF1QipN5E5WWqhh030_tcLYdxFtAi4Gc0y6zDhR0FSa/AF1QipOCFOt-s0Xp0MjMyDRbe68yV2dnHBROiWYCOH8J)

### 3.3 Опис, конструкција и основни делови



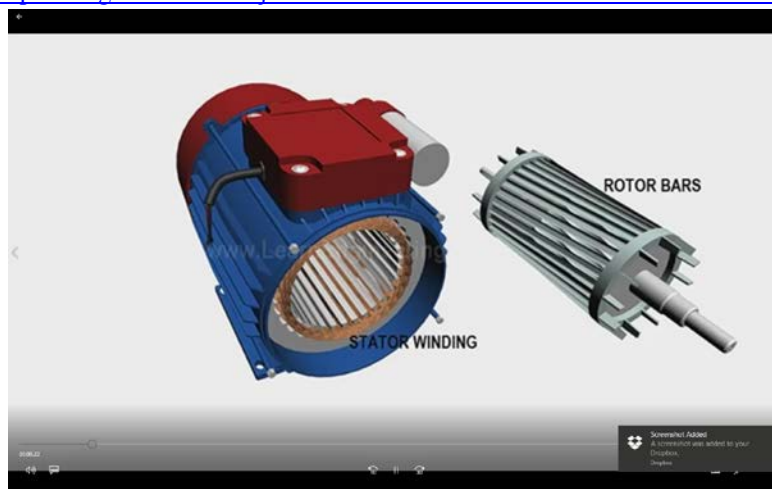
Сл. 38 Принцип формирања обртног магнетног поља

<http://www.empr.ftn.kg.ac.rs/animacije/Rotating%20Magnetic%20Field%20&%20Synchronous%20peed.mp4>



Сл. 39 Принцип рада асинхронног мотора

<http://www.empr.ftn.kg.ac.rs/animacije/How%20does%20an%20Induction%20Motor%20work.mp4>



Сл. 40 Принцип рада једнофазног асинхронног мотора

<http://www.empr.ftn.kg.ac.rs/animacije/Single%20Phase%20Induction%20Motor,%20How%20it%20works.mp4>

### 3.4 Примена

Трофазни асинхрони мотори су најкоришћенија врта мотора у свету.

Укупна потрошња електричне енергије у свету је око 18200 TWh/god. Електромоторни погони троше око 40% те енергије. Од тога 33,5% је учешће трофазних асинхорних мотора а око 26% су трофазни асинхрони мотори мањих снага (до 7,5 kW)



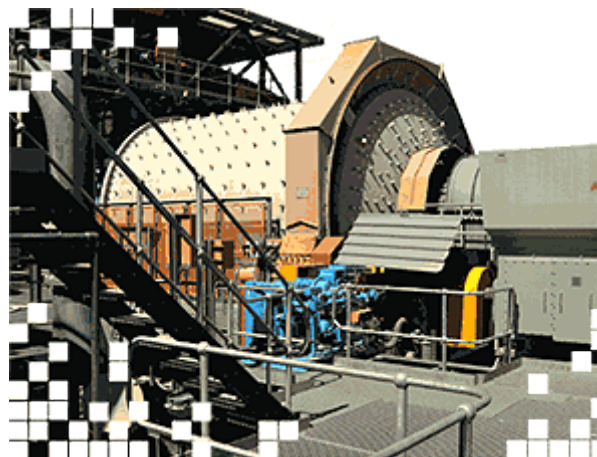
Сл. 41 Пумпна постројења



Сл. 44 Вентилациони системи



Сл. 42 Кранови



Сл. 45 Млинови, дробилце...



Сл. 43 Дизалице



Сл. 46 20 MW асинхрони мотор за носач авиона HMS Queen Elizabeth

## 4 Синхрони генератори

### 4.1 Опис, конструкција и основни делови

Синхроне машине се најчешће користе као синхрони генератори. Разликују се два типа:

- Синхрони хидрогенератори
- Синхрони турбогенератори

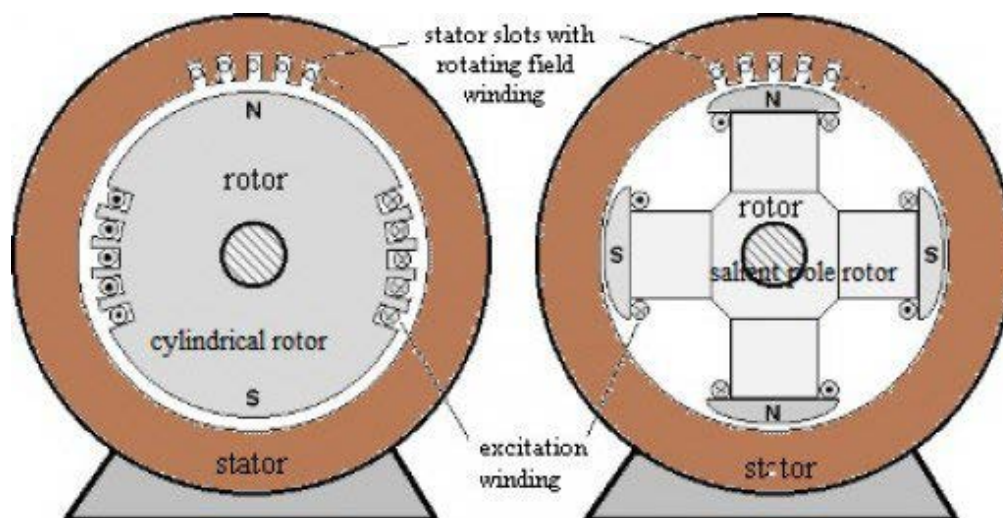
Статор је по конструкцији исти. Ваљкастог је облика, ожлебљен са унутрашње стране. У жлебовима је смештен трофазни намотај.

#### 4.1.1 Синхрони турбогенератор

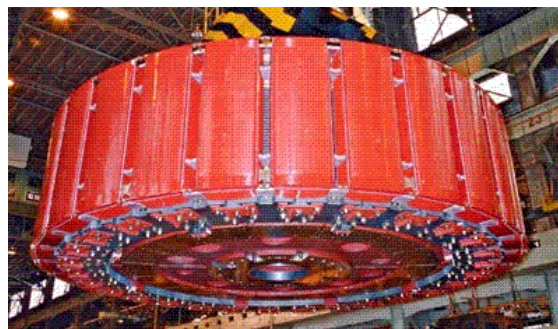
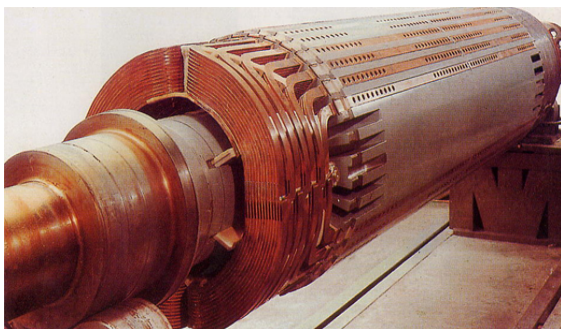
Синхрони турбогенератори се користе у термоелектранама. Ротор је мањег пречника, најчешће двополни. Ожлебљен је са спољашне стране и преко клизних прстенова побуђује једносмерном струјом. Обрће се синхронном брзином (за двополни машину то је брзина од 3000 о/мин - да би се у навојима статора индуковале струје фреквенције 50 Hz.

#### 4.1.2 Синхрони хидрогенератор

Код синхроног хидрогенератора ротор је вишеполни, са истакнутим половима који се побуђују једносмерном струјом. Струја се доводи преко клизних прстенова. Ротор се обрће синхронном брзином (која зависи од броја полова и жељене фреквенције излазног напона). У проводницима статора се индукују трофазне струје.



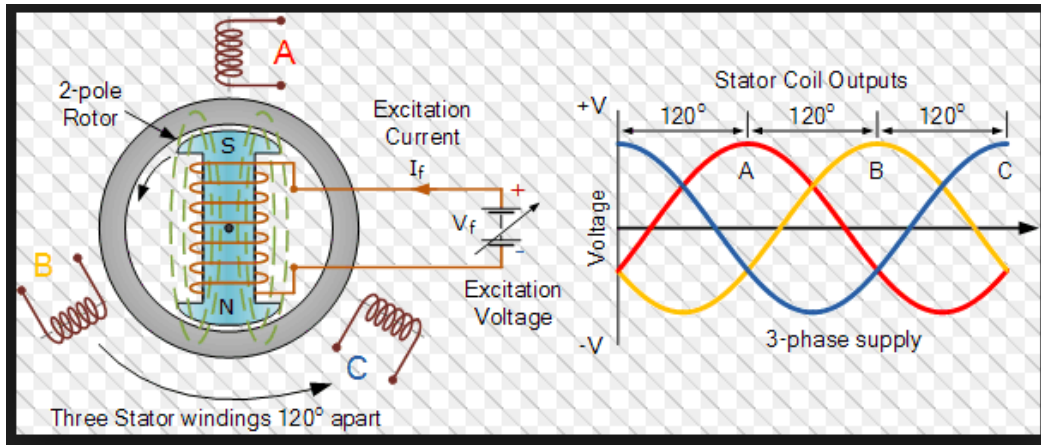
Сл. 47 Попречни пресек синхроног турбогенератора и хидрогенератора



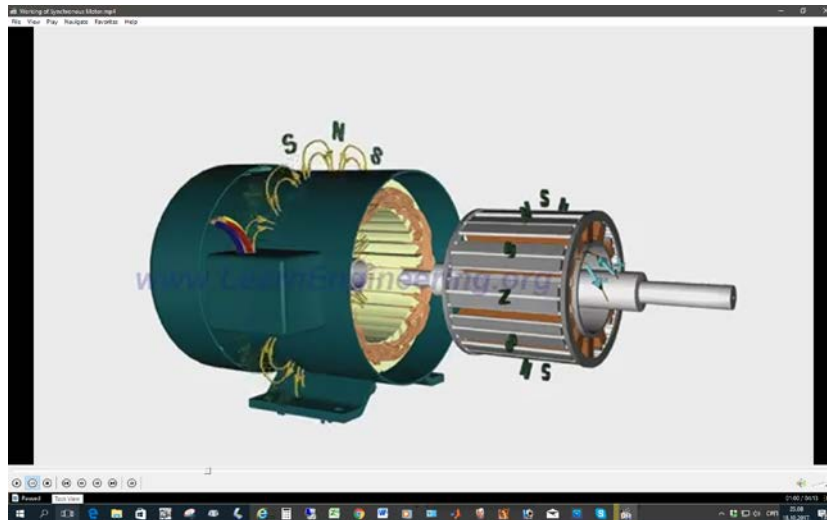
Сл. 48 Ротор синхроног турбогенератора Сл. 49 Ротор синхроног хидрогенераторија

## 4.2 Принцип рада

Ротор је индуктор који се побуђује једносмерном струјом преко клизних прстенова. Обрће се синхроним брзином и у навојима статора индукује трофазне наизменичне струје



Сл. 50 Уз објашњење принципа рада трофазног двополног хидрогенератора



Сл. 51 Видео запис објашњења рада синхроног мотора

<http://www.empr.ftn.kg.ac.rs/animacije/Working%20of%20Synchronous%20Motor.mp4>

## 4.3 Примена

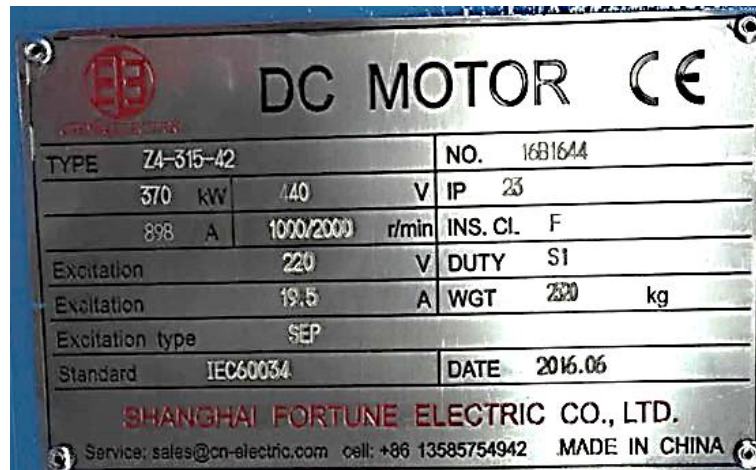


Сл. 52 Хидроелектрана Ђердап



Сл. 53 Термоелектрана Никола Тесла

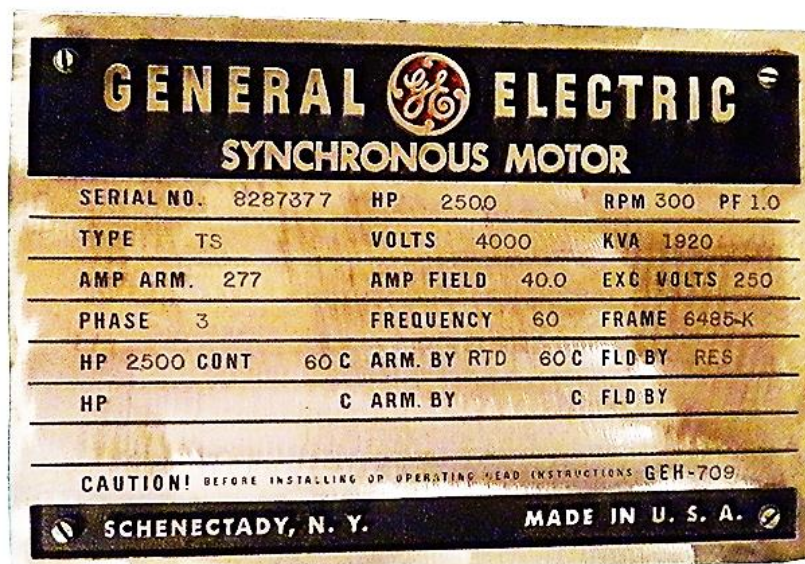
#### 4.4 Натписне плочице електричних мотора



Сл. 54 Натписна плочица мотора једносмерне струје

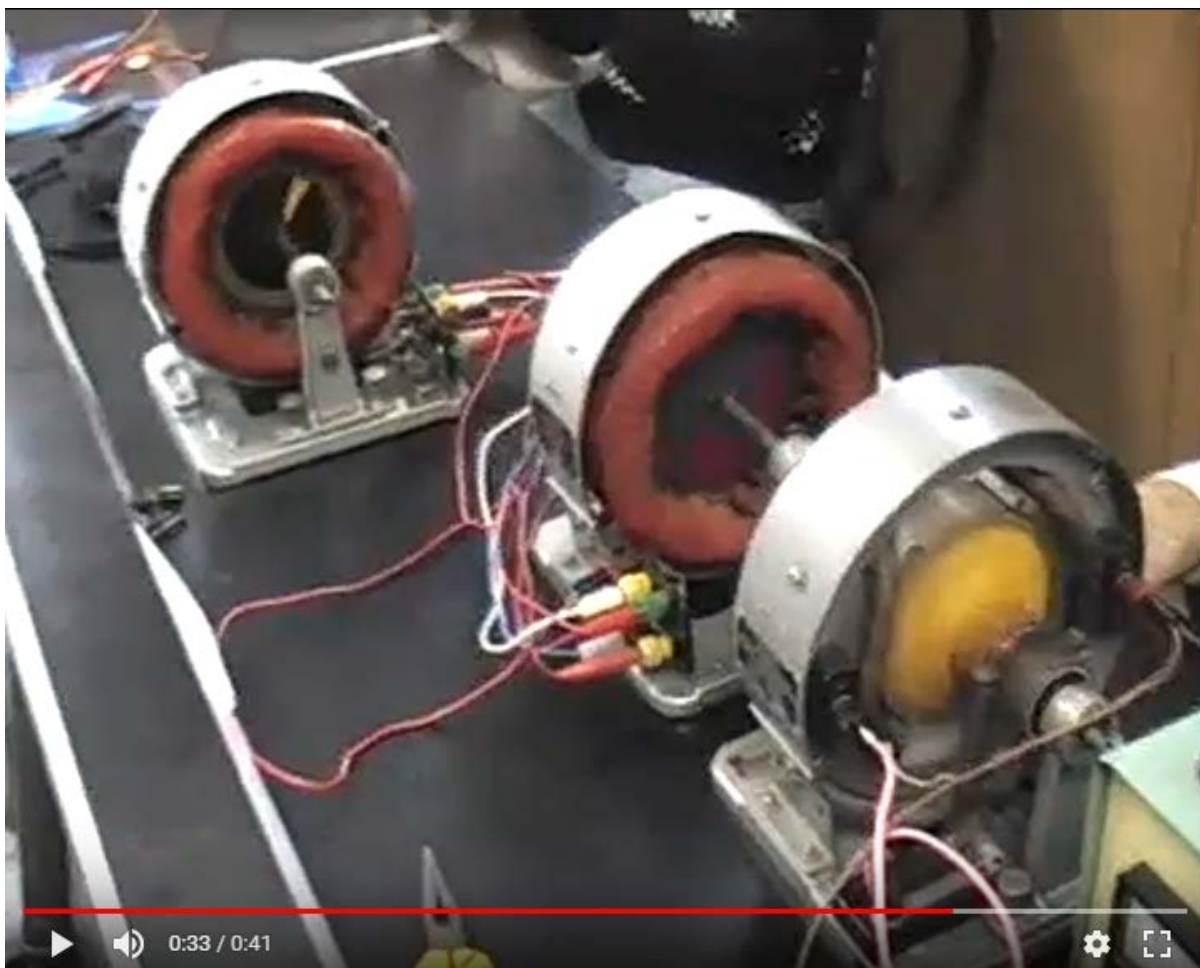


Сл. 55 Натписна плочица асинхроног мотора



Сл. 56 Натписна плочица синхроног мотора





Сл. 57 Лабораторијска вежба: спрега једносмерног мотора, синхроног генератора и асинхроног мотора

[https://get.google.com/albumarchive/109167109813548371551/album/AF1QipN2eI4\\_sld7zGUafsV8jyuHczu7H6-rbpXEEJyi/AF1QipOWeveEEfKHb79XdLwUySBYsDTPIaOYM5-98upD](https://get.google.com/albumarchive/109167109813548371551/album/AF1QipN2eI4_sld7zGUafsV8jyuHczu7H6-rbpXEEJyi/AF1QipOWeveEEfKHb79XdLwUySBYsDTPIaOYM5-98upD)