

**Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу**



**Назив студијског програма: Машинско инжењерство**

**Ниво студија: Основне академске студије**

**Модул: Производно машинство**

**Предмет: Машине алатке**

**Број индекса: 5/2016**

**Андријана Г. Грујић**  
**Мерни системи и сензори код CNC**  
**машина**  
**завршни рад**

**Комисија за преглед и одбрану:**

1. Др Богдан Недић, ред. проф., ментор

2. \_\_\_\_\_

3. \_\_\_\_\_

Датум одбране: \_\_\_\_\_

Оцена: \_\_\_\_\_



Универзитет у Крагујевцу  
Факултет инжењерских наука



Основне студије: **Машинско инжењерство**

Студијско подручје: **Производно машинство**

Име и презиме: **Андријана Грујић**

Број индекса: **5/2016**

### **ПРИЈАВА ЗАВРШНОГ РАДА**

Тема рада: **Мерни системи и сензори код ЦНЦ машина**

Задатак: У оквиру завршног рада кандидат треба да изврши прикупљање и систематизацију података о ЦНЦ машинама, са посебним акцентом на мерне системе. Потребно је описати мерне системе за директно и индиректно мерење. Кандидат ће у оквиру рада извршити прикупљање информација путем интернета. У другом делу рада приказати нека од конструктивних решења мерних система.

Завршни рада треба да садржи следеће целине:

1. Уводна разматрања,
2. Основне карактеристике ЦНЦ машина,
3. Подела и основне карактеристике мерних система и сензора,
4. Конструктивна решења мерних система,
5. Закључци,
6. Литература.

Ментор:

---

Др Богдан Недић, редовни професор

Крагујевац, 08.05.2019.

### Summary of the paper

Within this neglected work, an analysis of the measurement systems and the sensor code of the CNC machine was performed. Introductory aspect ratios are historically decoupled tooling, cutting edge systems, as well as the root cause of use for a CNC machine. They are presented in the obvious friends and basic features of CNC machines, where the advantages and disadvantages of CNC machines are exposed. Start this with an insight into the second point, the basic parts of a CNC machine are also shown. The measurement systems within the third point were selected and defined and the main characteristics of the measuring systems and sensors are existing. Direct measurement, indirect measurement, analogue and digital measurement systems, absolute and indicator measurement have been written. This is how the principle of sensor operation is presented and described. Initiate rigid within the quadrilateral point, analyzes of constructive solutions of measuring systems, uniquely analogue and digital measuring systems, indicator measuring systems, absorbing digital measuring systems, digital measuring systems, laser dead systems were performed. The fifth point indicates the practical application of the encoder code of CNC machines.

### Key words

Measuring systems and sensors, direct measurement, indirect measurement, constructive measurement system solutions.

### Резиме рада

У оквиру овог завршног рада извршена је анализа мерних система и сензора код CNC машина. Уводним разматрањима приказан је историјски развој машина алатки, врсте система, као и основни узрок потреба за развоја CNC машина. Приказане су у оквиру друге тачке основне карактеристике CNC машина где су наведене предности и недостаци CNC машина. Поред тога у оквиру друге тачке приказани су и основни делови CNC машина. Извршена је подела и дефинисање мерних система у оквиру треће тачке и наведене су основне карактеристике мерних система и сензора. Описано је директно мерење, индиректно мерење, аналогни и дигитални мерни системи, апсолутно и инкрементално мерење. Такође приказан и описан принцип рада сензора. Поред тога у оквиру четврте тачке извршена је и анализа конструктивних решења мерних система, односно аналогних и дигиталних мерних система, инкременталних мерних система, апсолутних дигиталних мерних система, дигиталних мерних система, ласерских мртних уређаја. Петом тачком приказана је практична примена енкодера код CNC машина.

### Кључне речи

Мерни системи и сензори, директно мерење, индиректно мерење, конструктивна решења мерних система.

**Садржај:**

|                                                                         |           |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. Уводна разматрања.....</b>                                        | <b>8</b>  |
| 1.1 Историја развоја машина алатки.....                                 | 8         |
| 1.2 Основни узрок развоја CNC машина.....                               | 9         |
| 1.3 Врсте система.....                                                  | 11        |
| <b>2. Основне карактеристике ЦНЦ машина.....</b>                        | <b>14</b> |
| <b>3. Подела и основне карактеристике мерних система и сензора.....</b> | <b>18</b> |
| 3.1 Подела мерних система.....                                          | 18        |
| 3.2 Директно мерење.....                                                | 19        |
| 3.3 Индиректно мерење.....                                              | 19        |
| 3.4 Аналогни и дигитални мерни системи.....                             | 22        |
| 3.5 Апсолутно и инкрементално мерење.....                               | 23        |
| 3.6 Сензори.....                                                        | 25        |
| <b>4. Конструктивна решења мерних система.....</b>                      | <b>29</b> |
| 4.1 Аналогни и дигитални мерни системи.....                             | 29        |
| 4.2 Инкрементални мерни системи.....                                    | 31        |
| 4.3 Апсолутни дигитални мерни системи.....                              | 33        |
| 4.4 Дигитални мерни системи.....                                        | 35        |
| 4.5 Ласерски мерни уређаји.....                                         | 36        |
| <b>5. Практична примена мерних система и сензора.....</b>               | <b>38</b> |
| 5.1 Употреба енкодера.....                                              | 38        |
| 5.2 Практични примери и прикази енкодера код CNC машина.....            | 38        |
| <b>6. Закључци.....</b>                                                 | <b>43</b> |
| <b>7. Литература.....</b>                                               | <b>44</b> |

**Попис слика:**

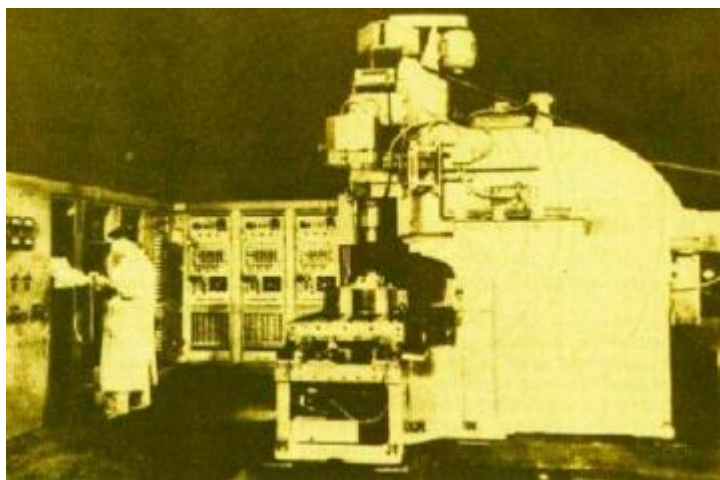
|                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Слика 1</b> Прва NC машина [4].....                                                       | 8  |
| <b>Слика 2</b> Прва NC глодалица набављена у фабрици „Првомајска“ 1969 године [7].....       | 8  |
| <b>Слика 3</b> Прва направљена глодалица у фабрици „Првомајска“ 1978 године [7].....         | 9  |
| <b>Слика 4</b> Основне разлике физичког изгледа између класичне машине и CNC машине [7]..... | 9  |
| <b>Слика 5</b> CNC плазма [9].....                                                           | 10 |
| <b>Слика 6</b> CNC бушилица [10].....                                                        | 10 |
| <b>Слика 7</b> CNC глодалица [11].....                                                       | 10 |
| <b>Слика 8</b> CNC струг [12].....                                                           | 10 |
| <b>Слика 9</b> Приказ основног система [8].....                                              | 11 |
| <b>Слика 10</b> Приказ машинског система код нумерички управљаних алатних машина [8].....    | 12 |
| <b>Слика 11</b> Обрадни систем са нумеричим и компјутерским управљањем. [8].....             | 12 |
| <b>Слика 12</b> Обрадни систем са нумеричим управљањем [8].....                              | 13 |
| <b>Слика 13</b> Блок дијаграм обрадних система са CNC управљањем [8].....                    | 15 |
| <b>Слика 14</b> Управљачка јединица (Siemens SINUMERIK 808D) [13].....                       | 16 |
| <b>Слика 15</b> Приказ уградње погона за помоћно и главно кретање [8].....                   | 17 |
| <b>Слика 16</b> Врсте (начини) и подела мерних система код CNC машина [8].....               | 18 |
| <b>Слика 17</b> Директно мерење [3].....                                                     | 19 |
| <b>Слика 18</b> Индиректно мерење [3].....                                                   | 19 |
| <b>Слика 19</b> Шема затвореног мерног система [3].....                                      | 20 |
| <b>Слика 20</b> Шема полузатвореног мерног система [3].....                                  | 21 |
| <b>Слика 21</b> Шема квазизатвореног мерног система [3].....                                 | 21 |
| <b>Слика 22</b> Шема отвореног мерног система [3].....                                       | 21 |
| <b>Слика 23</b> Аналогни и дигитални мерни системи [3].....                                  | 22 |
| <b>Слика 24</b> Апсолутно и инкрементално мерење [5].....                                    | 23 |

|                                                                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Слика 25</b> Начин апсолутног и инкременталног мерења [3].....                                                  | 24 |
| <b>Слика 26</b> Принцип рада и конструкциони елементи [17].....                                                    | 26 |
| <b>Слика 27</b> Апсолутни енкодери [14].....                                                                       | 26 |
| <b>Слика 28</b> Принцип рада енкодера [15].....                                                                    | 27 |
| <b>Слика 29</b> Принцип рада линеарног индуктосина [16].....                                                       | 29 |
| <b>Слика 30</b> Мерни систем затвореног типа индиректним мерењем пређеног пута помоћу кружног индуктосина [3]..... | 30 |
| <b>Слика 31</b> Спољашњи изглед енкодера (резолвера) [3].....                                                      | 30 |
| <b>Слика 32</b> Начин рада и шема изградње мерних резолвера [8].....                                               | 31 |
| <b>Слика 33</b> Шема распореда енкодера [3].....                                                                   | 32 |
| <b>Слика 34</b> Шема дигиталног мерења са пропуштањем светлости кроз мерну скалу [3].....                          | 33 |
| <b>Слика 35</b> Шема инкременталног мерног система са рефлектовањем светлости [3].....                             | 34 |
| <b>Слика 36</b> Апсолутни дигитални мерни систем [3].....                                                          | 34 |
| <b>Слика 37</b> Кружне координатне плоче за дигитално мерење угаоних померања [3].....                             | 35 |
| <b>Слика 38</b> Основни Мајкелсонов интерферометар [3].....                                                        | 36 |
| <b>Слика 39</b> Шема ласерског интерферометра за мерење праволинијског померања [3].....                           | 37 |
| <b>Слика 40</b> Приказ магнетног ротационог енкодера и инкременталног енкодера [23].....                           | 38 |
| <b>Слика 41</b> Примери линеарних енкодера [24] [25].....                                                          | 39 |
| <b>Слика 42</b> Примери инкременталног ротирајућег енкодера [26] [27].....                                         | 39 |
| <b>Слика 43</b> Примери апсолутних ротирајућих енкодера [28] [29] [30] [31].....                                   | 40 |
| <b>Слика 44</b> Енкодери код Haas machines.....                                                                    | 41 |
| <b>Слика 45</b> Пример линеарних енкодера произведених у фирми Fagor Automation [30].....                          | 41 |
| <b>Слика 46</b> Универзални давач код машина [31].....                                                             | 42 |
| <b>Слика 47</b> Оптички енкодер који се користи код великих шупљих вретена [31].....                               | 42 |
| <b>Слика 48</b> Приказ ротирајућих, линеарних и угаоних давача фирме Heidenhain [32].....                          | 42 |

## 1. УВОДНА РАЗМАТРАЊА

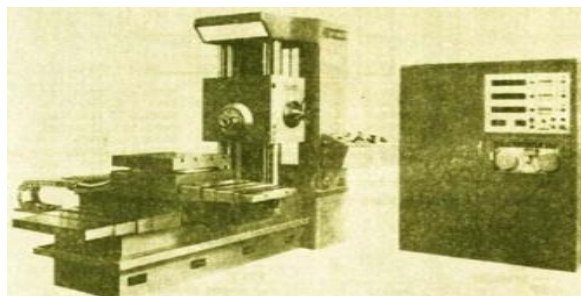
### 1.1 Историја развоја машина алатки

Потреба за развојом машинске обраде метала јавила се први пут у 15 веку када је човек вршио обарду дела са алатом у руци. Развој машина алтки са укључивањем степена аутоматизације почео је још давне 1800 године, када су се користила брегаста вратила за покретање алатних машина. Машине са брегастим вратилом су највиђу употребу имале за време првог светског рата, али то нису биле машине које су у правом смислу биле нумерички управљане машине. Прве нумерички управљане машине настале су у Енглеској у време индустријске револуције. Прва NC (*eng Numerical Control*) тј. нумерички контролисана машина, која направљена у Америци 1952 године је NC машина са електронском управљачком јединицом у коју се програм уносио преко бушене папирне траке која је приказана на слици 1. Код ове машине управљачка јединица је била већа од саме машине, што је захтевало велики простор за постављање ове машине [4].

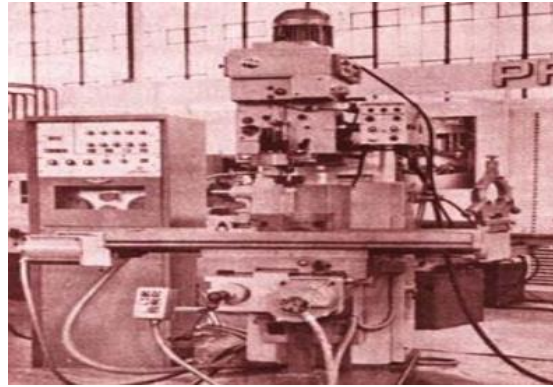


*Слика 1 Прва NC машина [4]*

Прва нумерички управљана машина, тј. конзолна глодалица набављена у бившој Југославији 1969 године у фабрици „Првомајска“ (слика 2) која се налазила у Загребу. Ова фирма је 1978 године успела да произведе самосталну серијску производњу нумерички управљаних машина приказану на слици 3 [7].



*Слика 2 Прва NC глодалица набављена у фабрици „Првомајска“ 1969 године [7]*

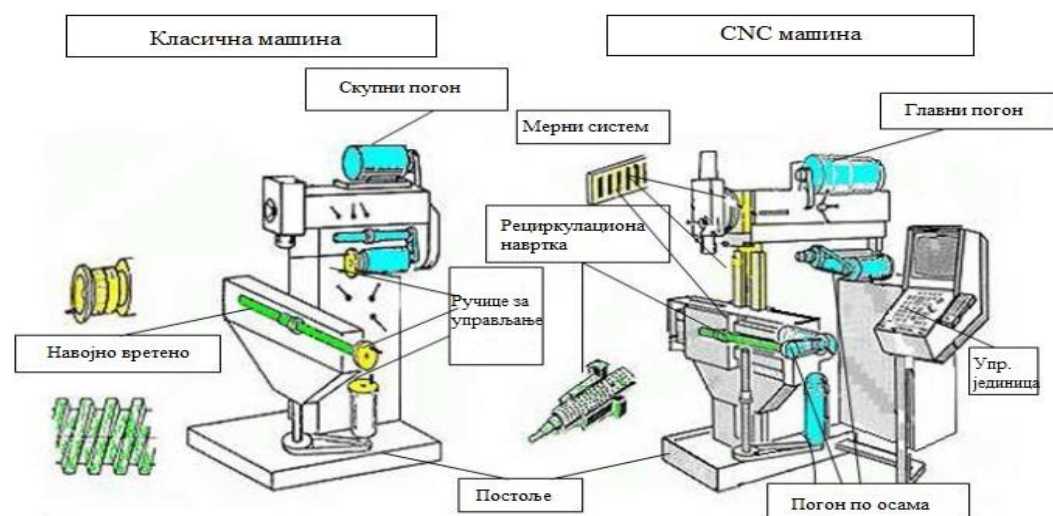


**Слика 3** Прва направљена глодалица у фабрици Првомајска“ 1978 године [7]

NC машине можемо дефинисати као машине којима се задају одређене наредбе које препознаје управљачка јединица. Обзиром на то да одређене наредбе које се задају садрже бројеве, слова и друге додатне специјалне ознаке, ове машине су добиле назив нумерички управљане машине. CNC програм је састављен од скупа свих задатих наредби уз помоћ којих је се изводе одређене операције на делу који се изађује [5].

## 1.2 Основни узрок развоја CNC машина:

Основна разлика између CNC и NC машина јесте то што NC машине користе управљачке системе базиране на хардверу, који представљају системе са класичном фиксном логиком, док CNC машине употребљавају управљачке системе базиране на софтверу, односно поседују програм и рачунар који управља и омогућава извршавање функција. На слици (4) видимо разлике између класичних алатних машина и компјутерски нумерички управљаних машина. Код управљачких система CNC машина могућа је измена програма у току рада, јер је носиоц информација рачунар, док је код NC машина носиоц информација бушена трака и самим тим није могућа измена програма у овом случају [4].



**Слика 4** Основне разлике физичког изгледа између класичне машине и CNC машине [7]

Основни циљ савремене индустрије јесте да тежи добијању производа већег квалитета, замена људског рада, смањењу времена производње, повећање искоришћења расположиве опреме, мање цене, боља организација рада, боља искоришћеност материјала, прилагођавању потребама тржишта, повећање асортимана производа и др. Из тог разлога савремени производи системи треба да поседују велику конкурентску способност, као што су ефикасност, флексибилност, аутоматизација, добар квалитет производа и др. Аутоматизација је у данашње време код обрадних система у области обраде метала резањем у потпуности укључена. С тога не тако ретко у савременој индустријској пракси су све чешће применљиве машине са нумрички управљањем, тзв. CNC (*eng. Computer Numerical Control*) машине, односно компјутерски нумерички управљане машине. Ово су машине код којих се управљање врши преко рачунара, тј. компјутера. Рачунар управља машином тако што прати програм који му је задат и преноси га на машину на језику који машина препознаје [1].

CNC (*eng. Computer Numerical Control*) имају веома широку примену због могућности добијања великог броја различитих производа. Користе се појединачној, малосеријској и серијској производњи. CNC машине се најчешће користе за обраду следећих материјала: за обраду пластике, дрвета, за гравирање, и др. CNC су посебно значајне у малосеријској и серијској производњи. Ове машине се не могу користити дуго, већ имају век трајања од пар година па се расположиви ресурси користе максимално [1].

Зависно од тога о каквој се обради дела ради, какав се део израђује, од каквог материјала, разликујемо више врста CNC машина. Најчешће коришћене јесу CNC глодалица, струг, плазма, 3D принтери, бушилице и др. од којих су на сликама (5), (6), (7), (8), дати неки од примера изгледа ових машина [1].



Слика 5 CNC плазма [9]



Слика 6 CNC бушилица [10]



Слика 7 CNC глодалица [11]



Слика 8 CNC струг [12]

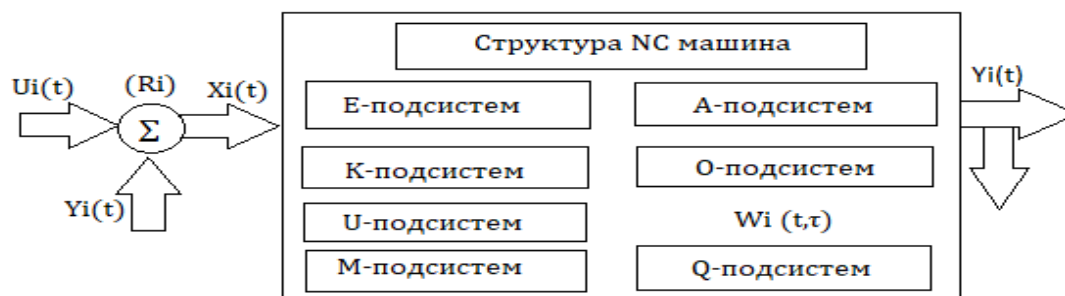
### 1.3 Врсте система:

Назив систем се не ретко користи у различитим областима љутске делатности, па се из тог разлога системи могу дефинисати на различите начине. Као основна дефиниција система може се рећи да је систем скуп елемената који су међусобно повезани у једну функцијоналну целину. Сам систем приказан на слици 9 је састављен од улазних ( $U_i$ ) и излазних величина ( $Y_i$ ). Улазне величине ( $U_i$ ) које утичу на сам систем, могу утицати на систем у контролисаним и неконтролисаним условима. Под контролисаним условима односе се углавном на функцију времена и стања система, док се под појмом неконтролисани услови подразумевају величине које делују на систем из околине и на које сам систем не може утицати. Дефинисање стања система се може извршити на основу прикупљених информација о стању система у ком се систем налазио и на тај начин применом тих информација дефинисати стање систем у ком ће се систем налазити касније. Овим се долази до закључка да сам систем зависи и да се дефинише на основу функције времена [8].



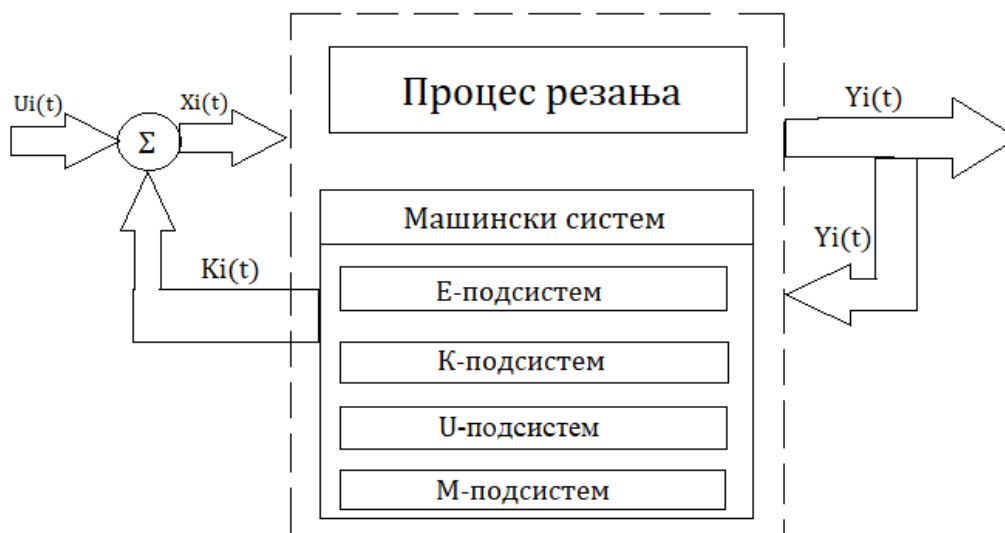
Слика 9 Приказ основног система [8]

Када говоримо о машинским системима у обласи алатних машина може се рећи да су то системи који се односе на неку алатну машину која поседује структуру која одређује систем на чије се понашање може утицати. Машински систем код нумерички управљаних машина се знатно разликује од машинских система код класичних алатних машина, јер поседују другачију структуру, а посебне разлике се могу приметити када је говоримо о подсистемима. Сама разлика између структура класичних алатних машина и нумерички управљаних машина огледа се пре свега у конструктивним карактеристикама система, као што су степен аутоматизације, величина и начин преноса информација, поузданост рада система и др. На слици 10 видимо основне делове нумерички управаног система, који се састоје од подсистема, а то је подсистем за енергију (Е), подсистем за позиционирање (К), подсистем за управљање (У), подсистем за мерење (М), подсистем за измену алата (А), подсистем за промену обрадака (О), подсистем за носеће структуре (Q) и др. [8].



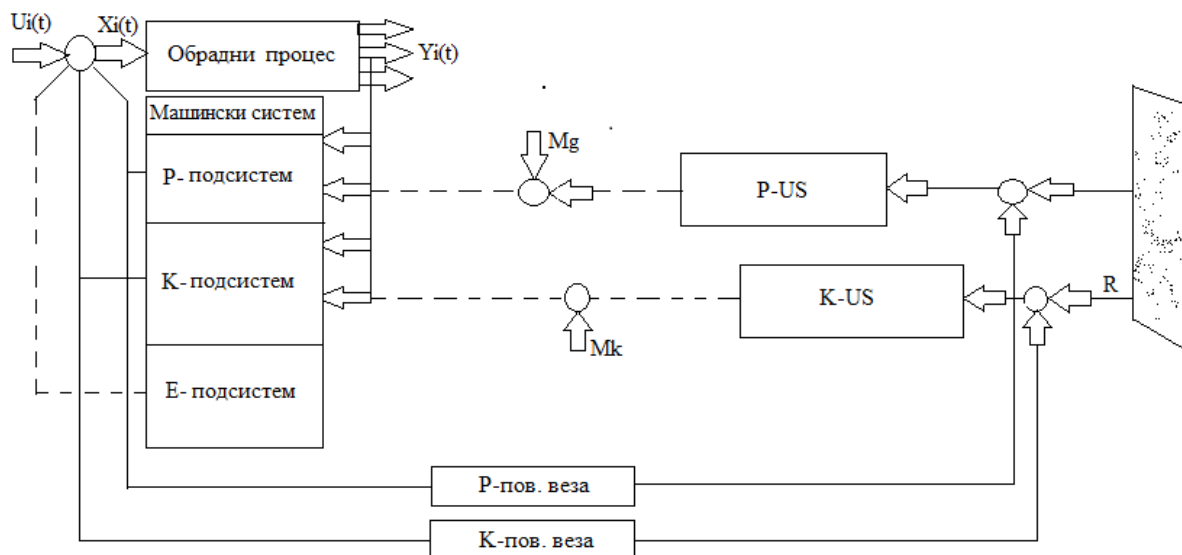
**Слика 10** Приказ машинског система код нумерички управљаних алатних машина [8]

Трансформисање информација, материјала и енергије обухватају обрадни процеси, тј. обрадни системи. Обрадни систем при изради користи различите количине улазних, односно излазних информација зависно од тога да ли се израђује за класичне алатне машине или за нумерички управљане машине. На слици 11 видимо обрадни систем компјутерски и нумерички управљаних машина где су улазне величине ( $U_i$ ) енергија ( $U_1$ ), материјал ( $U_2$ ), алат ( $U_3$ ), геометријске информације ( $U_4$ ), технолошке информације ( $U_5$ ); док су излазне величине ( $Y_i$ ) добијени део ( $Y_1$ ), струготина ( $Y_2$ ), добијени квалитет обрађене површине ( $Y_3$ ), економски и остали ефекти ( $Y_4$ ) [8].



**Слика 11** Обрадни систем са нумеричким и компјутерским управљањем. [8]

Нумерички управљани системи (NC) јесу системи код којих управљање процесом обраде зависи од управљачког система. Тиме се долази до закључка да је основна разлика између класичних обрадних система то што управљање у овом случају зависи највише од човека који управља системом, док се код нумерички управљаних система управљање обрадних система зависи од управљачког система. Машински систем је на овој слици 12 састављен од подсистема за помоћно кретање (P), подсистема за позиционирање (K), подсистема за генерисање снаге (E) [8].



Слика 12 Обрадни систем са нумеричим управљањем [8]

Додатне информације које NC систем не може обухватити аутоматским управљањем замењује DNC (Direct Numerical Control) системи односно директно нумерички контролисани системи, који заменом NC система омогућавају директно управљање рачунара одређеном групом NC машина. На овај начин се елиминишу додатне активности и укључивање у рад технолога, оператера, и др. [8].

Због недостатака због којих се није могла извршити комплетна аутоматизација производних процеса која укључује аутоматску измену алата, позиционирање и др., долази се на идеју да се развију веома паметног система, односно до развоја флексибилних производних система (FPS). Ови системи се издвајају по томе што су код њих у рад укључено неколико машина које међусобно повезане, односно врше допуну једна друге када је реч о обради захтеваног производа, чиме у потпуности омогућавају комплетну израду захтеваног производа [8].

Када говоримо о адаптивним системима може се рећи да су то системи који за разлику од класичних система омогућавају измену параметара обраде у току рада и на тај начин се прилагођавају захтевним критеријумима [8].

Како се у већем броју случаја производње захтевају минимални трошкови производње или максимални тршкови производње, уведени су нови АСО системи који омогућавају да се као главни параметар производње, односно главни критеријум управљања, употребљава управо параметар минималних трошкова производње [8].

## 2. ОСНОВНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ CNC МАШИНА

Увођењем што веће употребе делова у индустрију испуњавају се основни услови, што чини и основне предности CNC машина, а то су смањени трошкови производње, добијање производа већег квалитета, једноставно планирање контроле и производње делова. Остале предности CNC машина се огледају у извођењу сложених машинских операција, повећање продуктивности, повећање степена аутоматизације и флексибилности, боља контрола и планирање производње, мања укљученост оператера у рад и др. Поред бојних предности CNC машина, оне имају и недостатке, а неке од њих јесу: велика почетна улагања, већа потреба за одржавањем, мала ефикасност у односу на захтеване трошкове [1].

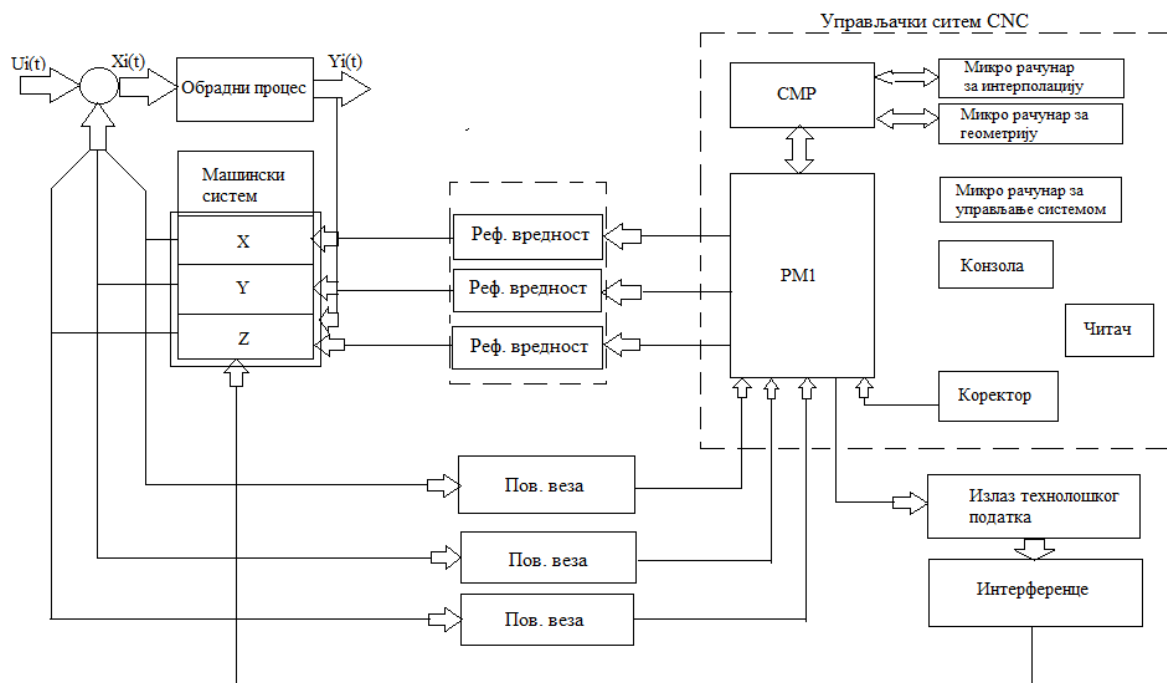
Нумерички управљане алатне машине одликују следеће конструктивне карактеристике:

- Носећи елементи машине имају велику статичку и динамичку крутост,
- Правoliniјске вођице које нису хабајуће са минималним трењем,
- Поседовање сопствених погона за кретање по осама,
- Широки опсег броја обртаја главног вретена,
- Висока тачност позиционирања,
- Велики степен аутоматизације,
- Могућност аутоматске измене алата и поседовање магацина алата,
- Поседовање опреме за заштиту радног места (заштитна ограда и др.),
- Поседовање вретена са рецикулационом навртком, без зазора [4].

Основни делови CNC машина [3]:

1. Управљачка јединица
2. Погонски систем
3. Алатне машине
4. Програмски део
5. Мерни систем

Управљачка јединица је нумерички управљана јединица у коју се уносе подаци који су такође у нумеричком облику и које нумеричка јединица након обраде података предаје машини. Пример изгледа једне управљачке јединице дат је на слици 14. Основни циљеви управљачке јединице огледају се у томе да се изврше све захтеване операције као што су кретање по осама (X, Y, Z), промена режима обраде, извођење кружних интерполација, промена брзине кретања алата и др. Предност CNC машина у односу на класичне машине огледа се у томе што се код класичних машина управљање врши ручно или машинским путем преко ручица, док се код CNC машина управљање врши преко управљачке јединице, тј тастатуре и екрана и то што раде аутоматски преко програма. Учитане информације се декодирају у декодеру које се након тога транспортују у меморију у случају да систем поседује своју меморију. Интерполатор (рачунар) је у директној вези са меморијом који се употребљава за израчунавање путање алата између референтних тачака, где добијене резултате (сигнале) шаље управљачким подсистемима. Основна и главна предност система са меморијом у односу на класичне системе са фиксном логиком, јесте то што имају много већу флексибилност, као и већа поузданост у току рада. Због тога се данас не производе системи са фиксном логиком, већ се у све већој мери тежи производњи система са много већом флексибилношћу. Као такви јесу управо системи са флексибилном логиком, односно CNC системи. Замена фиксне логике врши се уз помоћ микро рачунара, тј. користи се један микро рачунар за израчунавање путање алата, док се други на пример користи за позиционирање. Структура оваквог система приказана је на слици 13 [1] [8].

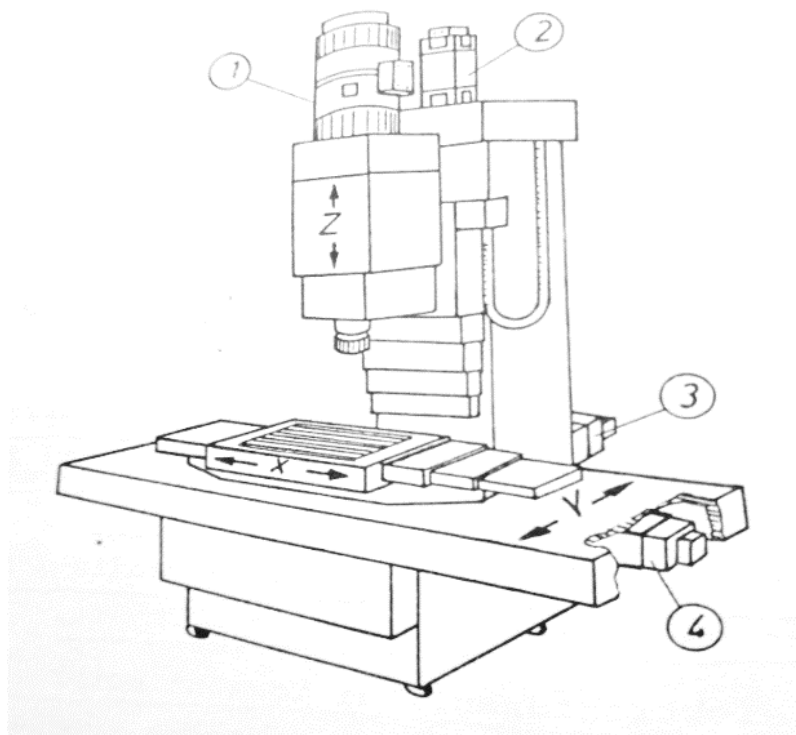


Слика 13 Блок дијаграм обрадних система са CNC управљањем [8]



Слика 14 Управљачка јединица (Siemens SINUMERIK 808D) [13]

Погонски систем има задатак да обезбеди покретање извршних органа односно главног и помоћног вретена, дејством управљачких сигнала које задаје управљачка јединица (помаци, брзине) и која омогућава да погонски систем управља извршним органима и на тај начин омогући кретање по задатим путањама и доведе у задате положаје. Како би се савладао отпор резања, погонски систем за главно кретање има задатак да обезбеди што већи обртни момент као и његов велики опсег регулисања броја обртаја. Када је реч о погонском систему за помоћно кретање може се рећи да ови системи имају задатак да обезбеде велики опсег регулисања брзине и веома велика динамичка кретања. За погон главног кретања најчешће се употребљавају електромотори, док се за погон помоћног кретања користе електрични корачни мотори, електрохидраулични корачни мотори, степенести погони са електромагнетном спојницом, хидраулички системи са хидростатичким моторима и сервомотори истосмерне струје. Основна разлика између класичних машина и CNC машина када је реч о погонским системима огледа се у томе што класичне машине имају само један мотор који покреће главно вретено и остварује помоћна кретања док CNC машине имају мотор за главно вретено, а посебни кочни мотори користе се за помоћно кретање. На слици 15 видимо уградњу погона за главно и помоћно кретање код CNC глодалице, где имамо главни погон који врши напајање од мотора једносмерне струје (1), помоћни погон где се напајање одвија уз помоћ струје у правцу управљања (3), сервомоторе истосмерне струје (2), погон управљачких оса (4) [1] [8].



**Слика 15** Приказ уградње погона за помоћно и главно кретање [8]

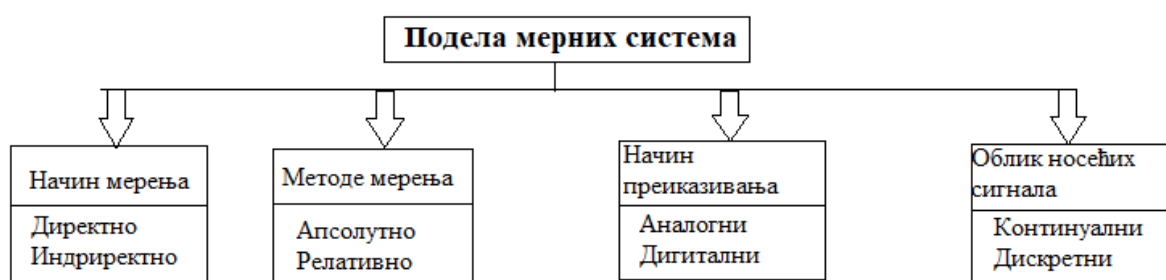
Мерни систем се сматра најважнијим системом код CNC машина. Мерни систем има циљ да добијену мерну величину проследи у управљачку јединицу где се врши упоређивање задате и измерене величине. Основни део мерних система јесте сензор, али поред тога мерни систем чини још низ елемената.

Овим радом биће детаљно објашњен мерни систем и његова улога. Предност CNC машина у односу на класичне машине огледа се у томе што CNC машине сензоре и линеарне мерне уређаје уз помоћ којих у свако тренутку могу пратити положај алата, док класичне машине имају само скалу са нонијусом [1].

### 3. ПОДЕЛА И ОСНОВНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ МЕРНИХ СИСТЕМА И СЕНЗОРА

#### 3.1 Подела мерних система:

Основни задатак мерних система јесте тачно вођење и довођење извршних органа, односно алата у задате положаје у односу на посматрани предмет обраде. Измерена вредност између алата и предмета зависи од геометрије предмета који се обрађује. Мерни систем има задатак да за што краће време и што прецизније измери промене извршних органа машине, а након тога ту измерену величину проследи управљачкој јединици у адекватном облику. Измерена величина је приказана у облику електричног сигнала, јер и сама управљачка јединица електронски уређај. Измерена величина се одмах шаље у управљачку јединицу, где се измерена величина пореди са задатом величином, јер се управљање изводи на основу разлике задате и измерене координате померања. Ово је тзв. on-line режим рада мерних система. Обзиром на то да се мерни системи називају и „сензор“, јер је то њихов основни елемент, сензор су мерни уређаји који другачије називају и мерни претварачи, односно уређаји који једну физичку величину претварају у другу. Сваки мерни систем на CNC машинама остварује кретање по три осе (X, Y, Z) и поред тога свака оса има сопствени погон за кретање. Основна подела мерних система приказана је на слици 16. Поред тога што мерни системи имају значајну улогу у добијању захтеваних осбина код дела који се израђује, мерни системи такође имају значајну улогу и у тачно позиционирању. Из тог разлога мери системи морају испуњавати и неке услове како би испунили ове услове. Дакле мерни системи морају имати велику осетљивост на кретање извршних органа, тачно и брзо регистровање промене смера кретања, морају бити економични како би цене уградње и одржавања биле прихватљиве, морају да теже универзалном облику конструкције, како би се мерни систем мога користити на различитим типовима CNC машина, висока поузданост рада, морају омогућити да се излазне информације могу пратити на рачунару и сл, омогуће брзо и ефикасно регистровање квара или грешке при раду [3] [8]. Наредна поглавља, као и слике, написана на основу употребе литературе број [3] све до тачке 3.5.

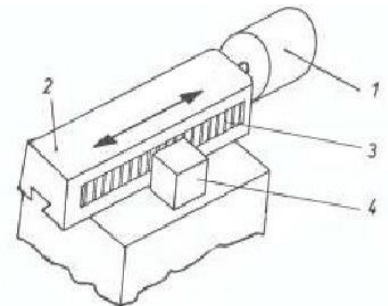


Слика 16 Врсте (начини) и подела мерних система код CNC машина [8]

### 3.2 Директно мерење:

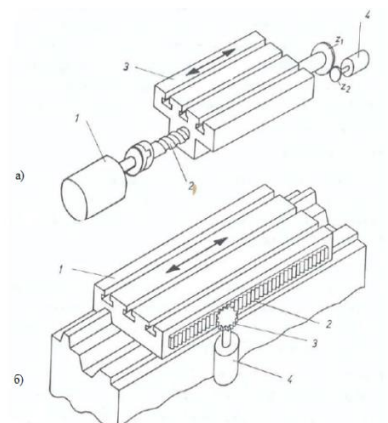
На слици 17 видимо шему директног мерења пређеног пута. Основна карактеристика директног мерења јесте то што између сензора (4) и мерне скале (3) нема никаквих посредника, односно они су у директном контакту, па се зато и назива директно мерење. Мерна скала је уграђена у радном столу машине, а сензор на непокреном делу машине. Праволинијско кретање радног стола се остварује помоћу сервомотора. (1) Принцип директног мерења се заснива на томе да сензор (4) региструје свако праволинијско померање радног стола (2) при чему се посебним методама овом кретању додељује предзнак  $+x$ , односно  $-x$ .

Размера пређеног пута и регистрације код сензора је 1:1.



Слика 17 Директно мерење

### 3.3 Индиректно мерење:



Слика 18 Индиректно мерење

На слици 18 видимо шему индиректног мерења пређеног пута. Основна карактеристика индиректног мерења јесте то што између сензора (4) и мерне скале (3) постоји посредник, те они нису у директном контакту, па се зато и назива индиректно мерење.

Принцип индиректног мерења заснива се на преношењу обртног кретања преко зупчастог преносника (2) на сензор за мерење угаоног померања (4).

Праволинијско кретање радног стола се остварује помоћу сервомотора (1), који је уз помоћ завојног вретена (2) везан за радни сто машине. На првом примеру, слика 10 (а) видимо индиректно мерење које се остварује преко угаоног померања завојног вретена.

На другом примеру, слика 10 (б) видимо директно мерење које се у овом случају остварује уз помоћ зупчастог пара, зупчаник-зупчата летва. Принцип мерења у овом случају се заснива на преношењу праволиниског кретања радног стола (1), преко зупчаника (3) и зупчате летве (2) на осовину сензора (4). Зупчаник је у овом случају постављен на осовину сензора, док је зупчата летва директно постављена на радни сто машине. Овим се такође као угаоно померање осовине сензора мери кретање радног стола.

Тачност мерења како код директних, тако и код индиректних метода мерења зависи од техничких карактеристика система.

За наведене мерне системе приказаних на сликама 7 и 8 можемо издвојити неколико грешака, односно недостатка мерења:

- температурске дилатације свих механичких елемената;
- тачност израде мерне скале;
- нетачност израде механичких елемената;
- похабаност механичких елемената;
- еластичне деформације механичких елемената

Према врсти мерних система поделу можемо извршити на следећи начин:

- 1) Затворени
- 2) Полузатворени
- 3) Квазизатворени
- 4) Отворени

Затворени мерни системи (слика 19) имају улогу да обавља своју функцију преко погонског електромотора, преносника, сензора за мерење величине праволинијског кретања и повратне спреге између сензора и управљачк јединице машине. Недостатак овог система се огледа у времену заостатка улазног и излазног сигнала и динамичка нестабилност.



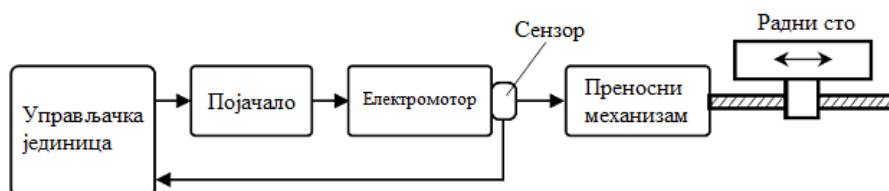
Слика 19 Шема затвореног мерног система

Полузатворени мерни систем (слика 20) поседује сензор којим се мери кружно обртање. На основу угаоног заокретања завојног вретена радног стола одређује се померање главног стола машине. Као главни недостатак може се рећи да је индиректни начин мерења и грешке мерења настале услед температурних проширења завојног вретена.



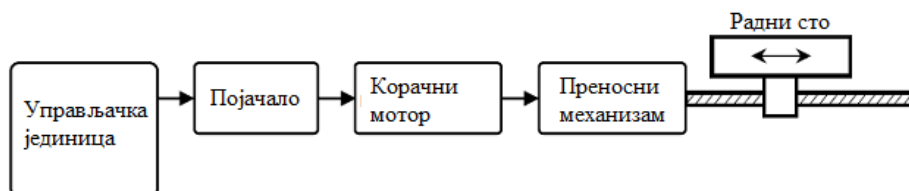
Слика 20 Шема полузатвореног мерног система

Квазизатворени мерни систем (слика 21) је функционално једнак полузатвореном. Основна разлика је у томе што се сензор налази погонском електромотору, а не на крају завојног вретена. Тиме се постиже уклањање грешке преноса и температурне дилатације завојног вретена.



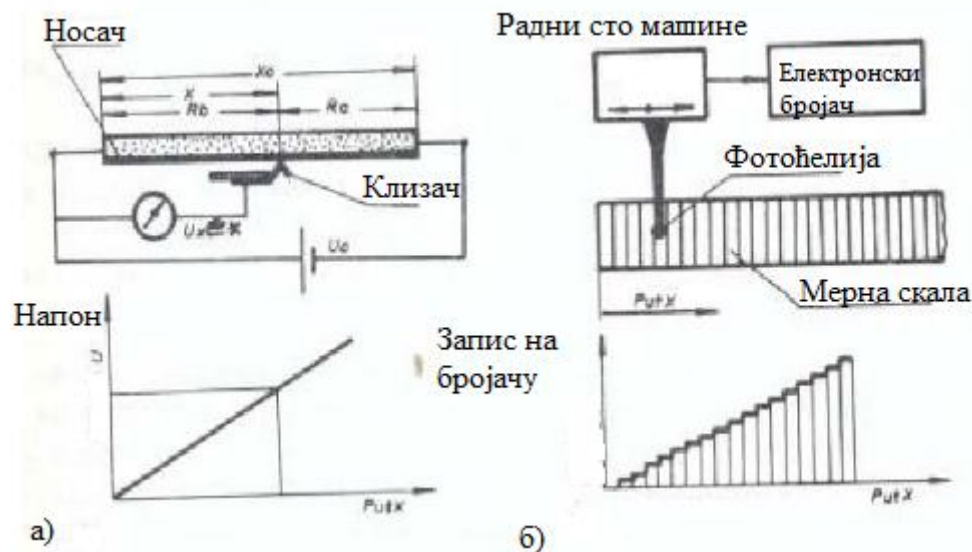
Слика 21 Шема квазизатвореног мерног система

Код отворених мерних системи (слика 22) се као погонски уређај примењују корачни или електрохидраулични корачни мотори. Основна карактеристика ових мотора јесте заокретање мотора за тачно одређену вредност која је дефинисана самим мотором. Може се рећи да је ово управљање кретањем, односно без употребе сензора и аналогно-дигиталног конвектора. У овом случају не постоји провера, односно упоређивање постигнуте и жељене вредности величине померања.



Слика 22 Шема отвореног мерног система

### 3.4 Аналогни и дигитални мерни системи:



Слика 23 Аналогни и дигитални мерни системи

На слици 23 видимо шематски приказ аналогног и дигиталног мерног система. Основни елементи дигиталних мерних система јесу мерна скала и посебни читач који се могу видети на слици 23(б). Уз помоћ читача може се пратити пређени пут на мерној скали, а његова величина региструје се на бројачу. У случају дигиталног мерења мерна скала је подељена на одређени број делова, где се укупно померање добија сабирањем укупног целог броја делова. На тачност очитавања пређеног пута директно утиче величина дела помоћу којег се врши очитавање и износи углавном од 10 до 20  $\mu m$ .

Основна разлика између дигиталних мерних система и аналогних мерних система јесте то да су дигитални мерни системи дисконтинуални у погледу праћења мерене величине, док је код аналогних ово праћење континуално. Као главна карактеристика аналогног мерења може се рећи да је то могућност мерења вредности  $X$  у оквиру дефинисане области мерења  $X_0$ . Пређени пут се директно може мерити и мерењем напона на потенциометру. Потенциометар може имати и гравирану скалу, тако да приказује директну величину пређеног пута. Изолациони материјал се користи за израду тела аналогног уређаја за мерење пређеног пута.

На површини тела, по којој се креће (клизи) клизач, утиснута је прецизно жица, или су ове површине на којима се налази танак слој филма који проводи електричну струју. На овај начин остварује се коло приказану на слици 23(а). Као највећи недостатак ових система сматра се неотпорност на изражено експлоатисање. Велики утицај на њега утиче и тачност, прљавштина и др. Утицаји из околине. На основу слике 23(а), аналогна метода мерења се темљи на познатом Отовом закону по коме се за струјно коло врло као може успоставити однос по вези. На основу овога долази се до закључка да се мерењем напона на потенциометру, посредним путем одређује пут  $X$ .

У данашње време се у све већој мери користе аналогни мерни системи чији се рад заснива на коришћењу закона електромагнетне индукције.

Слика 23(б) представља дигитални мерни систем који за основу има мере скале које се преко специфичних читача ( тастери, фото ћелије) могу пратити и пређени пут. Пређени пут директно се чита уз помоћ фотоћелије, односно читача, а очитане вредности се обрађују уз помоћ дигиталне електронике, па се овим долази до закључка да су вредности тренутно исказане на читачу за разлику од аналогних.

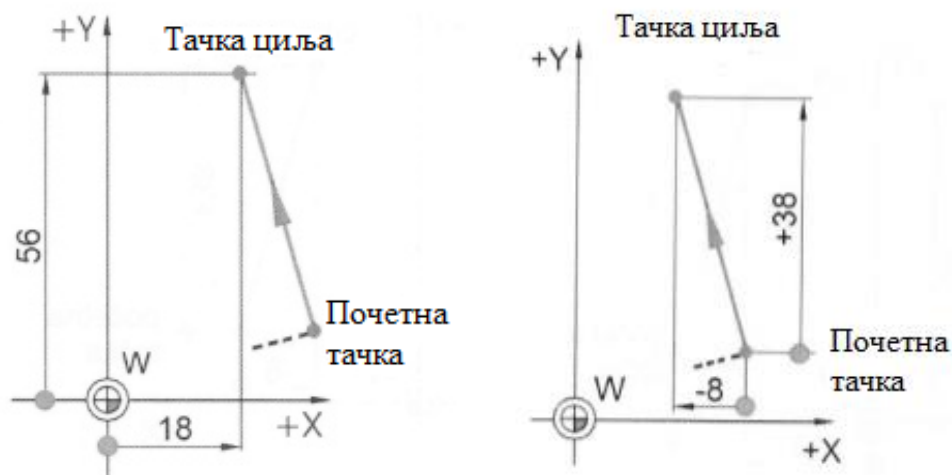
### 3.5 Апсолутно и инкрементално мерење:

Поделу метода дигитални мерења можемо извршити на следећи начин:

- 1) Апсолутно мерење
- 2) Инкрементално (релативно) мерење

Под апсолутним мерењем подразумевамо величинне које се увек посматрају (мере) у односу на неку почетну тачку W (Слика 24(а)) [5].

Под појмом релативно, односно инкрементално мерење подразумева се мерење неке вредности у односу на претходно посматрани положај (тачку) (Слика 24(б)) [3].



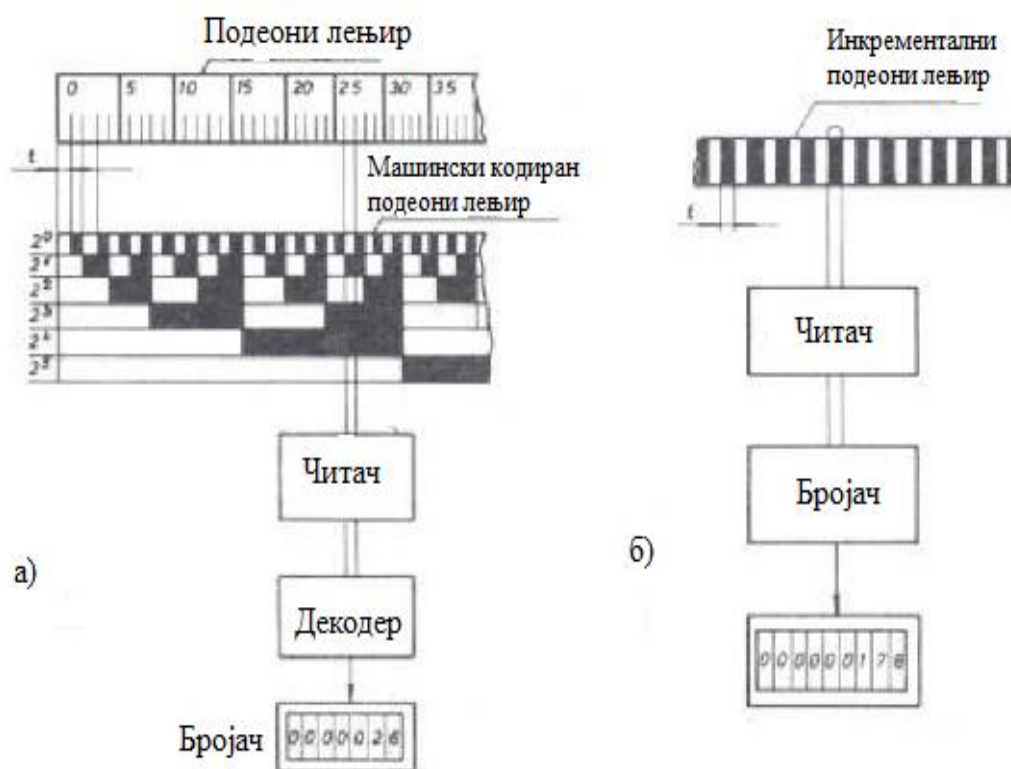
Слика 24 Апсолутно и инкрементално мерење [5]

Основна карактеристика апсолутног дигиталног мерења је то што увек имамо константан однос измерених вредности и позиција приказаних на подеоном лењиру. Позиција у овом случају увек добија исту измерену вредност, па свака позиција на подеоном лењиру има само једну комбинацију (слика 25 (а)) [3].

У случају програмирања у апсолутном мерном систему постоји могућност промене једног дела програма, а да се при томе не врше корекције другог дела програма. Положај, тј квадранта у коме се налази тачка, одређује се предзнаком + или - [5].

Код инкременталног дигиталног мерења врши се обрада периодичних сигнала, које читач генерише уз помоћ праћења инкременталног подеоног лењира (слика 25(б)) [3].

Због могућности писања потпрограма за операције које се више пута понављају на делу који се израђује имају велику примену [5].



Слика 25 Начин апсолутног и инкременталног мерења [3]

### 3.6 Сензори:

Принцип рада сензорских система са веома широком применом у индустрији, заснива се на електричном мерењу неелектричних величина. Пре свега битно је правилно изабрати скуп физичких величина које обезбеђују превођење физичке величине која се посматра у комплементалну електричну величину. При избору везе, веза која се бира мора да обезбеди детерминистичку зависност. Ова зависност мора бити линеарна или са познатим знаком нелинеарне зависности, сензитивности, осетљивости на проблеме, и стабилности. При мерењу једне од основних механичких величина, односно силе, претварач морамо пројектовати тако да мери померај електричне структуре на коју делује сила чији се интезитет мери [2].

Сила се овде мери индиректно уз помоћ померања еластичне структуре који се јавља услед дејства силе. Енкодери су уређаји који у великој мери заступљени код CNC машина, сврставају се у групу широких сигиталних сензорских ситета који се употребљавају за мерење линијских и угаоних померања. Кодирање угаоних и линијских позиција врши се уз помоћ коришћења одговарајућих електромеханичких склопова. Поделу енкодера можемо извршити у следеће две групе:

- 1) Инкрементални енкодери и
- 2) Апсолутни енкодери.

Инкрементални енкодери се користе за мерење релативног положаја посматраног у односу на неку унапред задату иницијалну координату, која може бити угаона или линијска.

Апсолутни енкодери имају примену у случају мерења апсолутне позиције, која је унапред дефинисана конструктивним решењима склопа у оквиру кога раде.

Одређивањем сигнала који се генерише уз помоћ енкодера, тј. поделом угаоног или линијског инкремента са интервалом времена које је прошло до његовог извршења добија се информација о тренутној брзини. Основана предност енкодера огледа се у томе што енкодери немају особину нагомилавања грешке, а и то што њихова тачност није условљена величином мерног опсега, што у пракси има велики значај. Кад је реч о алтернативним аналогним системима овде немамо ову особину, па се код савремени серворегулационих склопова увек примењују енкодери. Енкодери имају велику флексибилност, што им омогућава могућност уградње у различите конструкције. Уз помоћ оптичких и магнетних електромеханичких претварача врши се извођење енкодера. У савременој индустријској пракси технологија се заснива на оптоелектронским претварачима [2].

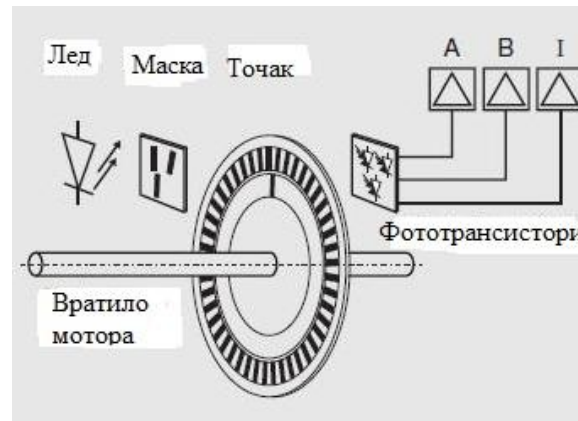
Код оптичких енкодера разликујемо оптичке елементе, одосно фото диоде и фото транзисторе, где је један од њих извор, а други пријемник. Енкодер поред наведених елемената поседује и маску на којој су постављена прозирна и непрозирна поља. Оптички пут између извора и пријемника се прекида наизменичним путем уз помоћ ових поља. Када је реч о величини ових поља, мже се раћи да је она директно сразмерена са механичком резолуцијом енкодера [2].

Основни део апсолутним енкодера јесте уређај за мерење угла, односно диск који је повезан са улазном осовином, чији се угао померања мери. У овом случају врши се мерење угла обртања диска. Сам диск је сачињен од неколико концентричних путањи на којима се мењају прозирна и непрозирна поља. Дужина поља зависи од дужине путања [6].

Код апсолутних енкодера имамо  $n$  паралелних канала који генеришу одређени бинарни код, који је повезан са неком геометријском размером. У случају да је реч о мерењу угаоног померања, врши се кодирање угаоних инкремената. Кодирање се врши применом *Gray*-овог бинарног кода са циљем решавања проблема стабилности читавања. Када је реч о *Gray*-овом цикличном коду можемо рећи да он има вема велики значај у пракси и да се за разлику од природног бинарног кода код овог кода децимално децимално суседни кодови су истовремено и логички суседни, тј. разликују се само на једној кодној позицији. Поред тога апсолутни енкодери који генерише *Gray*-

ов код на свом завршетку користи и природни бинарни код, па је зато неопходно обезбедити конвертор Gray-овог у бинарни код и обрнуто [2].

Принцип рада апсолутних енкодера (слика 26) заснива се на томе да светлост пада на линију од центра ка ободу и на тај начин сече све путање. Утврђивање информације о томе да ли је светлост прошла кроз путању или није врши се уз помоћ фотодетектора. Тачност мерења зависи од вредности угаоног сегмента. Разликовање углова се врши на основу кодова којим је сваки угао дефинисан [6].



**Слика 26** Принципијски рад и конструкциони елементи [17]

Када је реч о апсолутним енкодерима, може се рећи да они не захтевају иницијализацију. У случају када механизам има угаони опсег померања мањи од 360 степени, може се рећи да у сваком тренутку, када се мехатронски систем активира, читавањем тренутне позиције са кодног диска енкодера истовремено се читава и стварна позиција механизма. У случају када није тако, потребно је уградити посебни бројачки механизам који још региструје и пуни број обртаја [2].

Главни недостатак апсолутних енкодера огледа се у томе што има повећан број канала са повећањем резолуције, односно смањење угаоног кванта. Најчешћу примену у пракси имају енкодери са 8 до 12 кодних канала. Савремени трендови у домену градње апсолутних енкодера базирају се на директном упису бинарно кодиране координате на коресподенту физичку локацију. Принципијски рад ове технологије заснива се на технологији записа велике густине дигиталних података на оптичким медијумима за чување података. Ова технологија омогућава да се достигну физичке резолуције од 2 до 25. Пример апсолутних енкодера дат је на слици 27 [2].



**Слика 27** Апсолутни енкодери [14]

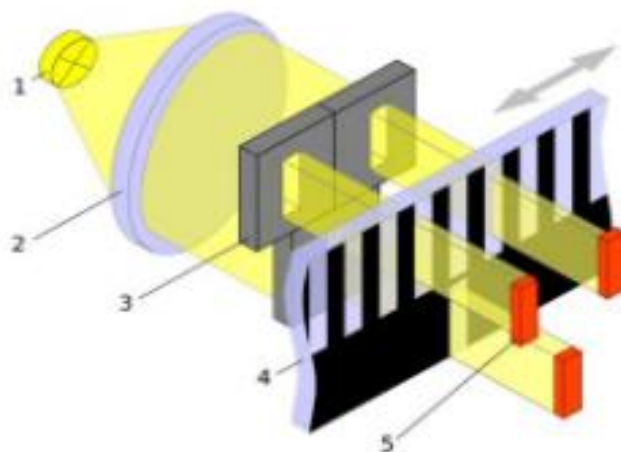
Принцип рада инкременталних енкодера заснива се на генерисању поворке импулса чијим се бројањем израчунава угаони померај, па отуда и њихов дуги назив бројачки енкодери. Разликујемо два типа енкодера [2]:

1. Енкодери са дискретним генератором импулса,
2. Енкодери са аналогним генератором импулса и интерполатором.

Инкрементални енкодер можемо дефинисати као оптички уређај који се користи за мерење угла. Основни делови овог уређаја јесу обртни диск и кућиште. Путања која се налази дуж обода диска је путања на којој се врши измена прозирних и непрозирних поља. Диск се налази између светлости и детектора. Диск је направљен од непрозирног материјала [7].

Инкрементални енкодери се са једнаком једноставношћу изводе као обртни и као линијски. Овај тип енкодера због бројачког карактера рада, максимална дужина или угао који се мери ограничен је само капацитетом бројача. У пактичној примени се користе енкодери који поседују два генератора импулса, тј. два канала која су фазно померена за  $\pi/2$ . Смер ротације се може утврдити, утврђивањем канала који предњачи. Ови канали се обично обележавају великим словима А и В. Трећи канал који поседује само један импулс по обртају, тј. референтни канал којим се означава локација иницијалне, тј. нулте тачке од које се врши бројање [2].

Овај канал је добио ознаку Z од енглеске речи „zero“ што значи нула и ова ознака се данас најчешће примењује. Енкодери са абалогним генератором импулса имају маску и комплетан оптоелектрични претварач, који су изведени да генеришу два простопериодична хармонијска сигнала савршеног облика. И овде је канал В померен за  $\pi/2$  у односу на канал А, па се на излазу стварају два сигнала идеалног синусног и косинусног облика константе просторне фреквенције. Ова врста енкодера може остварити веома велику резолуцију, постепено мерење позиције, а као главно ограничење јесте ниво присутног шума. Принципи рада енкодера дат је на слици 28 [2].



Слика 28 Принципи рада енкодера [15]

## 4. КОНСТРУКТИВНА РЕШЕЊА МЕРНИХ СИСТЕМА

### 4.1 Аналогни и дигитални мерни системи:

#### Директни аналогни мерни системи

Најчешће коришћени аналогни мерни системи у пракси јесу системи који раде на принципу електромагнетне индукције. Поред тога постоје и аналогни мерни системи, Када је реч о директним аналогним мерним системима пре свега мислимо на потенциометре који раде на принципу Омовог закона, али се они мање користе у пракси у односу на системе који раде на принципу електромагнетне индукције, односно индуктосине. Данас се у индустрији на ЦНЦ машинама употребљавају индуктосини, јер поседују бројне предности у односу на потенциометре који се данас не користе на ЦНЦ машинама. Индуктосини са бројин предностима у односу на потенциометре, пре свега много веће тачности, могу се поделити на [3] [8]:

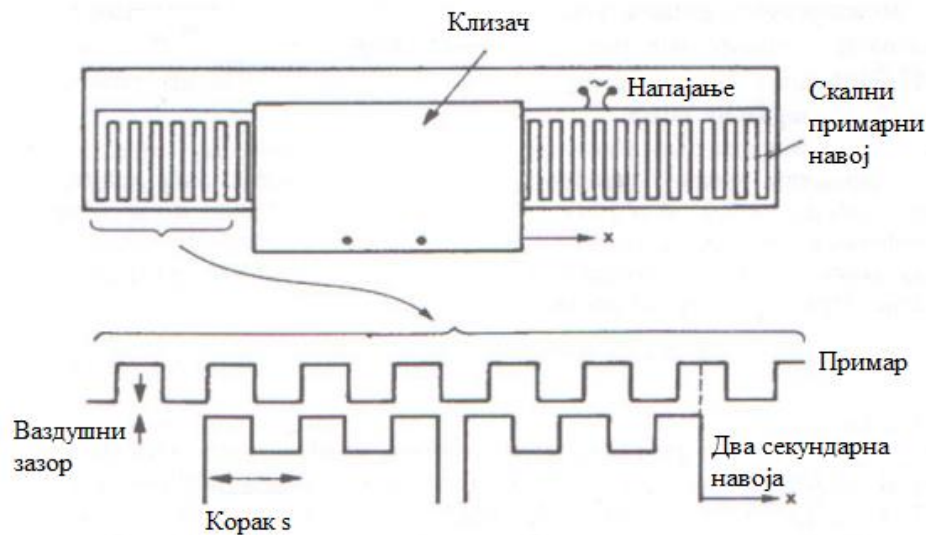
- 1) Индуктосини линеарног облика
- 2) Индуктосини кружног облика

Индуктосини линеарног облика се користе за мерење праволинијских померања, док се кружни употребљавају за мерење угаоних померања. За шеме индиректног мерења користе се кружни индуктосини, а за шеме директног мерења користе се линеарни индуктосини [3].

Основни делови линеарног индуктосина јесу непокретни део, односно стаклена плоча на којој се налази навоја са намотајом корака 2mm и клизача који се налази на покретном делу и поседује два намотаја од по 2mm корака, који су међусобно померени за  $\frac{1}{4}$  корака, чиме је одређен смер кретања. Између клизача и непокретне стаклене плоче налази се растојање које износи 0.1-0.2mm, а захтевана паралелност се током мерења одржава у границама од 0.05μm. Покретањем намотаја у покретном делу индуктосина наизменичном струјом одређеног напона, долази до појаве индукованог напона у основном намотају плоче, чија величина зависи од величине напона и од међусобног положаја основне скале и клизача. На основу може се рећи да положају алата одговара величина индукованог напона у једном намотају клизача, док се смер кретања клизача индуктосина одређује променом величине индукованог напона у оба намотаја клизача [8].

На овој фотографији (слика 29) видимо принцип рада линеарног индуктосина уз чију се помоћ директно мери пређени пут. Делови овог мерног уређаја јесу лењир и клизач. Ова два дела се међусобно могу покретати. У сам лењир и клизач гравирањем су намотај од електропроводљивог материјала уграђени у ова два дела. Намотаји од електропроводљивог материјала имају правоугаони облик и производе се одређеним кораком. Облик и димензије намотаја су идентичне како на лењиру, тако и на клизачу. На покретни део машине, тј. столу машине, поставља се лењир, док се клизач поставља

на непокретном делу машине, односно столу машине и заједно се налазе на одређеном зазору [3].



### Линеарни индуктосин

Слика 29 Принцип рада линеарног индуктосина [16]

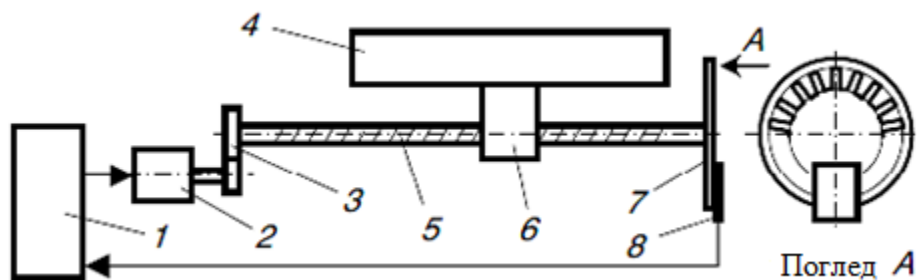
Линеари индуктосини функцијонишу тако што се за сваки пређени корак на лењиру индуктосина, конвертор региструје пут који ради на принципу електричних сигнала. Вредност  $X$  која се уз помоћ конвертера трансформише у дигиталне, тј. бројне вредности, као и смер кретања, рачуна се на основу стања индукованих напона [3].

Принцип рада линеарног индуктосина одговара раду апсолутног мерног система из следећих разлога [3]:

- На лењиру индуктосина измерена вредност је апсолутна током кретања клизача у оквиру једног корака, тј периода.
- После кретања, за сваки корак, тј. период, процес апсолутног мерења се циклично понавља.

Кружни индуктосини имају намотај који је постављен на кружој плочи. На овој слици (слика 30) видимо управљачку јединицу машине (1), са погонским сервомотором (2), зупчастим пеносником (3), радним столом машине (4), завојним вретеном (5), навртком (6), кружним индуктосином (7) и клизачем индуктосина [3].

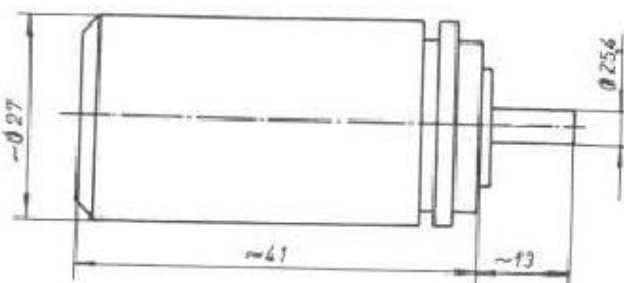
Намотаје који су у савијеном стању уграђени у кружну плочу, могу се посматрати аналогно као и намотаје линијског индуктосина. Када је реч о примени индуктосина, њихова примена се може срести код мерења угаоних померања у систему директног мерења, тј. за мерења линеарних померања у систему индиректног мерења. На овој фотографији имамо приказан систем затвореног типа код кога се уз помоћ кружног индуктосина, индиректним мерењем мери пређени пут [3].



Слика 30 Мерни систем затвореног типа индиректним мерењем пређеног пута помоћу кружног индуктосина [3]

#### 4.2 Индиректни аналогни мерни системи:

Када је реч о групи индиректних аналогних мерних системима у ову групу сврставамо ротационе индуктосине, ротационе потенциометре и ресолвери. С обзиром на чињеницу да се потенциометри не примењују код компјутерских и нумерички управљаних машина фокус се ставља на ротационе индуктосине и ресолвере. Принцип рада кружних индуктосина је исти као и код линеарног индуктосина. Енкдер, односно ресолвер, својим физичким изгледом подсећа на мањи електромотор са веома прецизним постављеним намотајума. Физички изглед енкодера, односно ресолвера је дат на слици (31). Ресолвер је индуктивни ротациони мерни специјалне намене електромагнетног ротирајућег мерног система који трансформише механички ротирајући вектор угаоног кретања ротора у захтевану електричну компоненту, односно индуковани напон. Ресолвер се дефинише и представља веома тачан и прецизан систем обртних трансформатора за транспорт угаоних померања на одређене удаљености. Због тога се они користе за мерења путања код нумерички управљаних машина, принципом претварања линеарног у обртно кретање [3] [8].

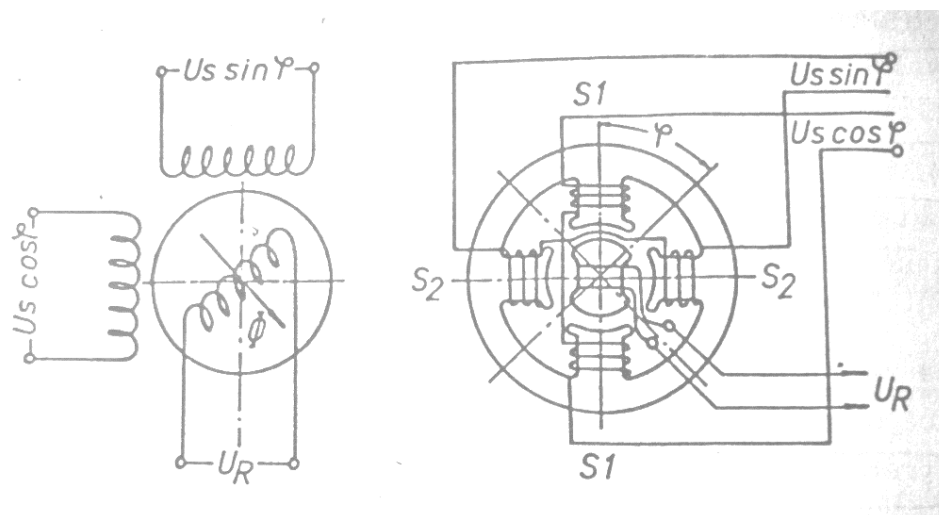


Слика 31 Спољашњи изглед енкодера (ресолвера) [3]

На слици (33) видимо шему намотаја енкодера. Доста слично као и код линеарног индуктосина и овде се успостављају корелације између вредности индукованих напона,  $e_1$  и  $e_2$  и угла  $\alpha$  [3].

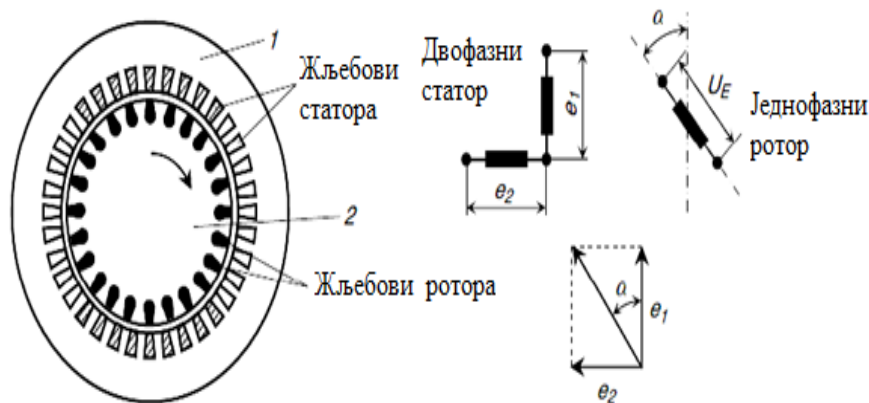
Уз помоћ ових израчунатих вредности угла  $\alpha$  одређују се величина и смер окретања угловног померања ротора ризлавера [3].

Ресолвер поседује два основна дела, а то су ротор и статор. Када је реч о врсти ресолвера разликујемо двополни ресолвер и вишеполне ресолвере код којих је принцип рада исти, основна и једина разлика јесте у начину превођења. У случају вишеполних ресолвера разликујемо електрично превођење фазних помака, док код двополних ресолвера разликујемо механичко превођење угаоног померања. Статор (1) енкодера поседује два намотаја који леже у две међусобно паралелне равни, тј. у простору, оси намотаја заклапају угао од  $180^\circ$ , односно  $0$ . Покретање намотаја статора врши се напајањем наизменичном струјом и на овај начин изазива стварање полузирајућег индукованог напона у ротору исте јачине као и на статору. Када је реч о величини полузирајућег индуцираног напона она зависи од међусобног положаја роторских намотаја у односу на статорске, који се даљем уређивањем употребљава и за мерење кретања. Ротор енкодера поседује такође намотај. Када се наизменична струја високе фреквенције и напона пусти кроз намотај ротора (2) у простору између статора и ротора ће се створити променљиво електрично поље. Када говоримо о величини ресолвера, њихова величина зависи од побудне фреквенције, односно у случају да је побудна фреквенција већа онда је мерни систем мањи. Оседљивост ресолвера је веома добра код рачунарских нумерички управљаних машина и креће се од 3-10 лучних минута. Прикључивање ресолвера на сваку осу управљачких NC и CNC машина се остварује се тако што се ротор ресолвера доводи у везу са завојним вretenом клизача, односно машине, зупчастом летвом и на сличне начине. Изградња мерног ресолвера и начин рада ресолвера је приказана на слици 32 [3] [8].



Слика 32 Начин рада и шема изградње мерних ресолвера [8]

Ово поље индукује наизменичне напоне који су пропорционални углу  $\alpha$  заокретања плоче ризолвера у намотајима статора. Основне карактеристике енкодера који се користе за мерне системе јесу мале димензије уградње, једноставна уградња, веома висока тачност, као и поузданост [3].



Слика 33 Шема распореда енкодера [3]

Ови енкодери се не троше у току употребе. Принцип мерња који се заснива на дигиталним мерним системима углавном користе фотоелектрични ефекат и то на следеће начине:

- Рефлектовање светлости од мерне скале
- Пропуштање светлости кроз мерну скалу

У случају рефлектовања светлости од мерне скале, односно када зрак светлости падне на мерну скалу на којој су израђене подеоне линије које наизменично рефлектују светлост или не рефлектују светлост.

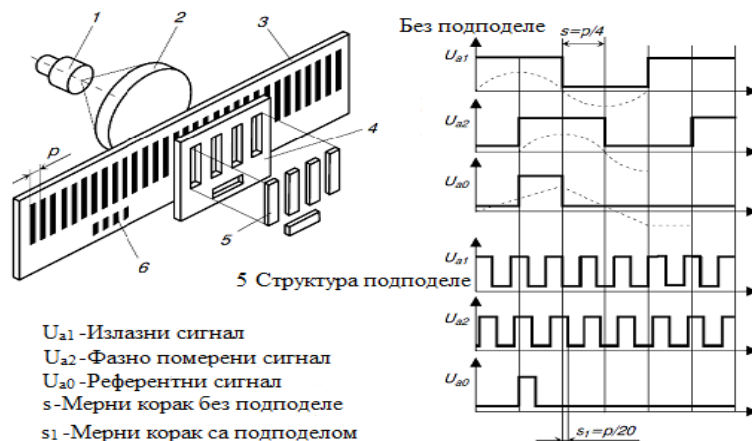
У случају када светлост пролази кроз мерну скалу, мерна скала се израђује тако да наизменично пропушта или не пропусти светлост. Одбијени зраци у првом случају падају на фотоћелије индукујући при томе у њима фотострује чијом се даљом обрадом долази до дигиталних вредности о линеарном или угаоном померању [3].

#### 4.3 Инкрементални мерни ситеми:

Начин функциоисања директних дигиталних инкременталних мерних система се заснива на сабирању, односно одузимању импулса који се формирају као последица померања извршних органа алатних машина, чије се кретање прати у оквиру обрадног система. У овом случају сваки инкремент, односно дужина одговара сваком импулсу. Додавањм импулса се добија величина померања у одређеном смеру [8].

На слици (34) видимо шему дигиталног мерног система који функцијонише по принципу пропуштања светлости. Сам мерни систем сачињен је од извора светлости (1), оптичког дела (2), мерне скале (3), бленде (4) и фотоћелија (5). Јенан или више референтних подеока (6) су урађени на мерној скали [3].

Решетке (4) и мерне скале (3) током релативног кретања на излазној старни решетке настаје мерни сигнал који врши промену по закону синусоиде. У два реда међусобно померена за вредност периода поређане су фотоћелије (5) [3].



Слика 34 Шема дигиталног мерења са пропуштањем светлости кроз мерну скалу [3]

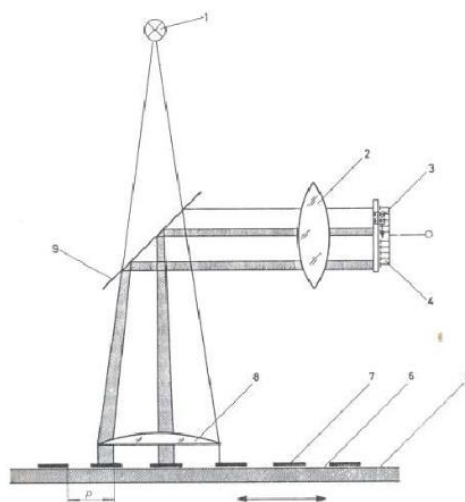
Овако поређане фотоћелије обезбеђују генерисање сигнала који су померени за 0, што обезбеђује управљачкој јединици да их региструје и примени при проналаску величине и смера кретања. Импулс се генерише уз помоћ референтних података [3].

При прелазу решетке (4) преко референтног подеока (6) настаје импулс, који служи за одређивање исхода координатног система. На средини мерне скале најчешће се могу наћи референтни подаци. Брже репродуковање оствареног кретања, чак и у случајевима прекида напајања електричном струјом, остварује се уградњом више референтних подеока (6) на мерној скали. У оваквим случајевима аутоматски до последње тачке враћа се клизач и од ове тачке прави ново радно кретање.

Сигнале добијене од фотоћелија обликује посебан електрични уређај. Синусни облици импулса се у овом случају преводе у правоугаони облик, приказаних на слици (19). Овакви сигнали се могу интерпретирати и у складу са захтеваном тачношћу мерења и величинама података, поделити и добити у облику пет ии двадесет подсигнала.

Шема инкременталног мерног система приказана је на слици (35), који функцијонише по принципу динамичког фотоелектричног мерења.

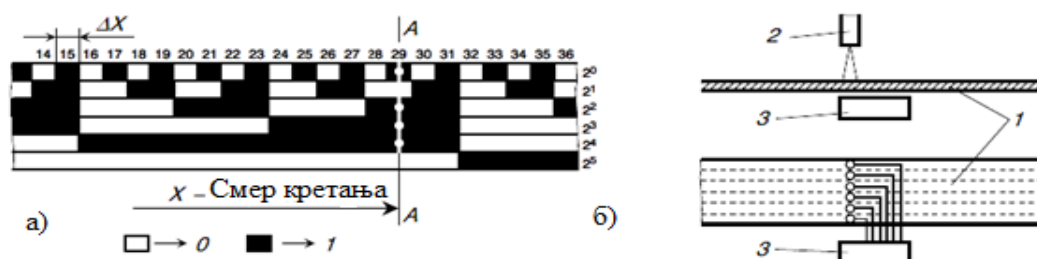
Сам систем сачињен је од извора светлости (1), сочива (2), активног поља (3) са фотодиодама (4), челичног лењира (5) са нерелефним пољима (6) и рефлектујућим пољима (7), сочива (8) и полупропусног огледала. Процес фотоелектричног мерења се занима на употреби 220 фотодиода које се постављају у реду. Ка што је приказано на слици (22), уз помоћ коришћења оптичких елемената, светлост се рефлектује од површине (7) на мерном лењиру (5) до фотодиода (4), при чему се при томе у исто време активира скуп три до десет диода. Напон индукованих фотодиода је пропорционалан интензитету светлости која на њих пада. При прелативном померању мерног лењира (5), активни део (3), се помера у оквиру рада фотодиода (4), и на тај начин настаје тражена решетка или растер. Мерни сигнал који се даље обрађује у управљачки сигнал формиран је од збира струја. Као основа карактеристика приказаног мерног система може се рећи да је то могућност регистровања чак и веома малих померања и при грубој подели на мерној скали [3].



Слика 35 Шема инкременталног мерног система са рефлектовањем светлости [3]

#### 4.4 Апсолутни дигитални мерни системи:

Основна разлика између инкременталних и апсолутних дигиталних мерних система јесте то што су апсолутни дигитални мерни системи кодирани тако да је на мерној скали свакој позицији додељена бројна вредност, односно апсолутна. Изглед кодиране мерне скале дигиталног мерног система видимо на слици (36). Мерна скала у овом случају представља апсолутни дигитални показивач и она је у ствари графичка илустрација природног броја у бинарном систему. Ова скала се израђује на мерном лењирау тако што се на њему ураде линије поља за кодирање бинарних поља 0 и 1 бинарних бројева. Сам број линија зависи од природног броја који се треба графички интерпретирати. На слици (36) видимо читавање приказане позиције А-А које врши системом приказаном на слици. Овај систем је сачињен од бинарно кодираног мерног лењира (1), извора светлости (2) и фотоћелије (3). Сам број фотодиода одређује се на основу броја врста кодног лењира. На основу броја врста кодног лењира одређује се и дужина система, што значи да се у случају већих дужина морају користити лењери са већим бројем врста, док се код мањих дужина користе лењери мањих броја врста. Бела поља на лењирау не пропуштају светлосне зраке, док је код тамних поља супротно, односно тамна поља пропуштају светлосне зраке [3] [8].

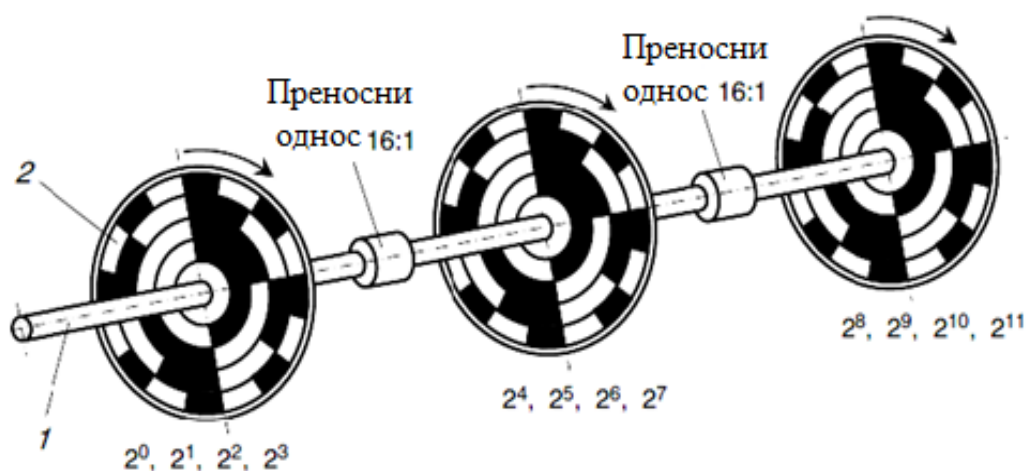


Слика 36 Апсолутни дигитални мерни систем [3]

#### 4.5 Дигитални мерни системи:

Код дигиталних мерних система мерење угаоних померања, било да је то инкрементално или апсолутно мерење, функцијонишу по принципу истом као и мерни системи за линеарна померања. Мерне скале се овде представљају у кружном распореду. Коришћењем истих техника решења могуће је мерити и угаона померања у оквиру једног пуног круга. Уређај приказан на слици (37) користи се за угаона померања већа од једног пуног круга. Кружна кодирана плоча (2) постављена је на погонску осовину (1). Паралелно са кружном координатном плочом поставља се решетка насупрот стране фотодиода. Кодирани ознаке поседују тамна и светла поља на кружној координатној плочи. Кодирани ознаке се уз помоћ светлосног зрака и фотодиода читавају и у наставку обрађују на скоро идентичан начин као и код других мерних система ове врсте. Обртање плоче једна у односу на другу регулисано је вема прецизним и тачним преносником чији преносни однос мора да одговара броју подеока на кружним кодираним плочама [3].

Слика (37) приказује плоче са шеснаест подеока и преносним односом подеока 16:1, чиме се на овај начин добија ефекат са много више координатних линија [3].



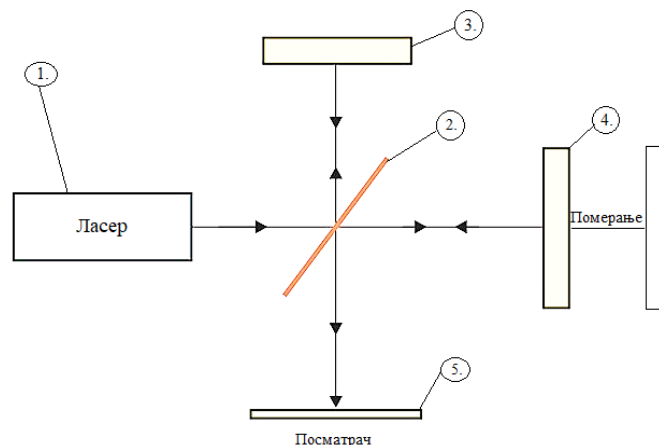
Слика 37 Кружне координатне плоче за дигитално мерење угаоних померања [3]

#### 4.6 Ласерски мерни уређаји:

Применом ласерских трансформатора можемо извршити мерење померања извршних органа код нумерички управљаних машина. Код машина које захтевају мерење веома великих померања, односно машина код којих су кретања извршних органа већа од 10 m овај систем за мерење је вема користан и вема се често у оваквим случајевима примењује. Мајкелсонов интерферометар је систем који је настао пре 120 година, и примењује се тако што се употребљава принцип светлосне интерференције као методе за мерење. Овај систем је формирао амерички физичар Алберт Абрахам (Ејбрахам) Мајкелсон (*Albert Abraham Michelson*) и тиме побијо хипотезу о етру. Овај систем је приказан на слици (38). Интерферометар је састављен од монохроматског извора светлости (1), тј светлости која има исте таласне дужине, полупропусног огледала (2), фиксног огледала (3) и покретног дела (4). Принцип рада се овде огледа у

томе да се светлосни талас креће од извора (1) и даље дели на површини огледала (2), па се половина рефлектује под углом од  $0$  и креће према фиксном, односно непокретном огледалу (3), а половина одлази до покретног огледала (4). Рекомбиновани зраци се формирају услед одбијања зракова у огледалу (3) и огледалу (4). Огледала се у овом случају постављају тако да су рекомбиновани зраци паралелни и као такви усмерени према посматрачу [3].

Светлосни рекомбиновани зраци су у фази, односно стварање конструктивних интерференција као јасну светлост (слика 38), јављају се када се фиксно, тј. непокретно огледало (3) и покретно огледало (4) налазе на истом растојању од огледала (2). Рекомбиновани зраци се враћају посматрачу са фазним помаком од  $180$  и створиће се деструктивна интерференција у случају када се покретно огледало помери за једну половину таласне дужине. У оакој ситуацији посматрачу изостаје светлост, односно види само тамну фазу. Стога померањем покретног огледала (4) посматрач види и светлу и тамну фазу, уз чије се једноставно бројање и познавање величина таласа дужине зрака, остварује услов за мерење величине померања покретног огледала [3].

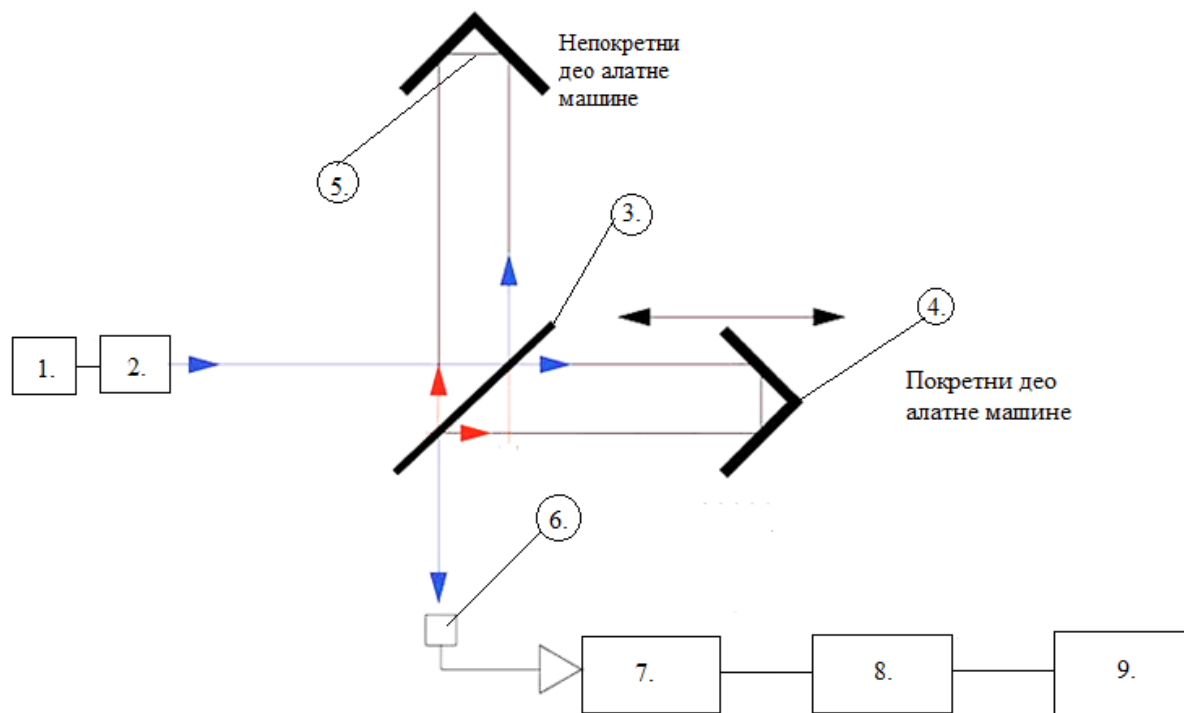


**Слика 38** Основни Мајкелсонов интерферометар [19]

Ласерски зрак је веома узак светлосни сноп високог интензитета, који се сигурно шири на великим даљинама.

Веома стабилна је и таласна дужина овог зрака. Када се искombинују интерференције са овим добијамо један веома тачан мерни уређај који се назива ласерски интерферометар приказан на слици (39). Светлост из извора ласерског зрака (2) улази у систем за мерење линеарног померања. Уз помоћ употребе уређаја (1) врши се континуирана контрола интензитета и таласне дужине зрака. Светлосни зрак пада на полупропусно огледало (3) и потом одлази до покретног дела алатне машине на коме је постављена оптичка призма (4) која зрак усмерава за  $180$  и враћа га назад у интерферометар. Враћени зраци од стране оптичких призми (4 и 5) се услед различитих оптичких путева наизменично формирати конструктивну и деструктивну интерференцију. Ове светлосне импулсе региструје фотодекодер (6) и онда их претвара у електричне сигнале, који се даље транспортују у појачивач (7), а потом у електронски уређај (8), који се користи за бројање електричних сигнала. На крају се конверзија јединица у уређају, приказ и прерачунавање измерене величине померања покретног

дела машине. Основна велика предност ових уређаја јесте вема велика екстремна тачност, јер се она мери у деловима таласне дужине  $S_1$  [3].



Слика 39 Шема ласерског интерферометра за мерење праволинијског померања [20]

## 5. ПРАКТИЧНА ПРИМЕНА МЕРНИХ СИСТЕМА И СЕНЗОРА

### 5.1 Употреба енкодера:

Енкодери имају веома шитоку примену и сматрају се веома важним због своје улоге која им омогућава да обезбеде повратне информације. Енкодери се данас могу срести свуда, у штампачима, медицинским скенерима, аутоматизацији, научној опреми и др. [23].

Енкодери имају велику примену у различитим областима индустрије:

- 1) Аутомобилска индустрија употребљава енкодере као сензоре механичког кретања, односно контролу брзине кретања.
- 2) Потрошачка електроника употребљава енкодере за опремање канцеларијске опреме, односно рачунарске опреме за скенирање, као што су штампач и скенер.
- 3) У индустрији енкодери се употребљавају у машинама за паковање, етикетирање, алатим машинама са једноосним и вишеосним регулаторима мотора, код CNC машина и др.
- 4) Када је реч о примени енкодера у медицини енкодери се употребљавају код медицинских скенера.
- 5) Војна индустрија такође употребљава енкодере код антена за позиционирање.
- 6) Када је реч о научној опреми енкодери се употребљавају за позиционирање опсерваторског телескопа.

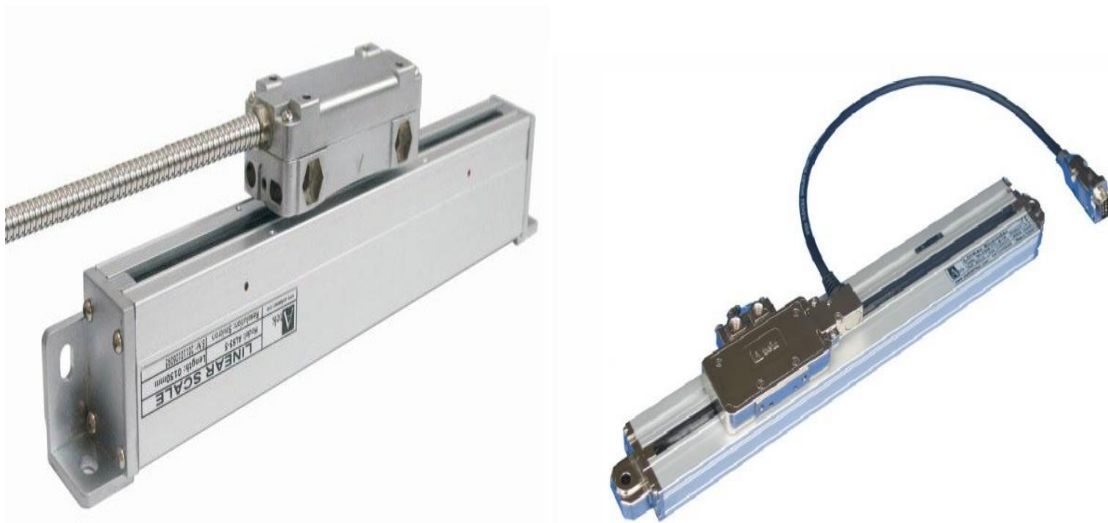
### 5.2 Практични примери и прикази енкодера код CNC машина:

Излазне информације добијене од стране инкременталних ротационих енкодера употребљавају се за одређивање брзине и праћења положаја.



**Слика 40** Приказ магнетног ротационог енкодера и инкременталног енкодера [21]

Изглед неких од енкодера који се употребљавају код CNC машина је дат са следећим сликама. Линеарни енкодери се употребљавају за одређивање вредности праволинијских померања, односно за мерење равног правца.



**Слика 41** Примери линеарних енкодера [22] [23]

На слици 42 приказан је пример инкременталног ротирајућег енкодера који своју примену налазе при одређивању угаоних померања.



**Слика 42** Примери инкременталног ротирајућег енкодера [24] [25]

На слици 43 видимо примере апсолутних ротирајућих енкодера који своју примену налази при одређивању, тј. мерењу апсолутне позиције, односно одређивање угла обртања.



**Слика 43** Примери апсолутних ротирајућих енкодера [26] [27] [28] [29]

Инкрементални оптички енкодери своју примену налазе при одређивању ротационе брзине и из ње извлаче релативну позицију. Апсолутни оптички енкодери своју примену налазе када је реч о директном мерењу угаоне позиције из које се извлачи, односно одређује брзина. [33]

*Haas Machines* употребљавају следеће врсте енкодера[18] :

1. Оптички енкодер (*Optical Encoder (Shacked)*)
2. Магнетни енкодер (*Magnetic Encoder (Hubbed, Shafted)*)
3. Неконтактни енкодер (*Non-Contact Encoders*)

Енкодери код ових машина имају задатак да обезбеде повратне информације контроли над правцем и брзином вретена. Аларм код ових машина се активира у случају да било који од сигнала давача изгуби или не реагује на на улазу машине. У случају да не долази до активирања аларма, онда није потребно вршити измену енкодера.



Слика 44 Енкодери код Haas machines [18]

Fagor Automation фирма која се годинама уназад бави производњом линеарних енкодера. Ова фирма је развила системе, компоненте и технологије које им омогућавају широку понуду квалитета и карактеристика асортимана производа које захтевају новије методе производње. Из ових разлога ова фирма се сматра једном од водећих фирми у производњи линеарних енкодера. Због фокуса ове фирме на употребу савремених метода производње, великог залагања за квалитет производа као и остале бројне карактеристике производа ова фирма је резултирала великим бројем патената и захтеваних решења везана за електрична, оптичка и механичка поља. Неки од примера линеарних енкодера произведених од стране ове фирме приказани су на слици 45 [30].



Слика 45 Пример линеарних енкодера произведених у фирми Fagor Automation [30]

Фирма Roundss у својој понуди има више врста окретних енкодера који своју примену налазе код CNC машина. Ова фирма поред широког асортимана ротационих енкодера, укључује и шупље енкодере осовине за потребе машинског вретена код CNC машина. Практични примери производа ове фирме дати су на слици 46 и 47. Енкодер приказан на слици 47 има велику предност у односу на енкодере приказане на слици 46 јер има век трајања и до десет година, док енкодери приказани на слици 46 имају век трајања од једне до две године. Пример приказан на слици 47 односно оптички

енкодер, своју практичну примену налази код великих шупљих вретена на CNC машинама [31].



Слика 46 Универзални давач код машина [31]



Слика 47 Оптички енкодер који се користи код великих шупљих вретена [31]

Неки од примера енкодера направљених у фирми *Heidenhain* приказани су на слици 48. На овим сликама можемо видети линерне енкодере, угаоне енкодере и ротирајуће енкодере који своју примену налазе код раличитих врста CNC машина.[32].



Слика 48 Приказ ротирајућих, линеарних и угаоних давача фирме *Heidenhain* [32]

## 6. Закључак

Детаљном анализом овог рада долази се до закључка да се CNC машине у све већој мери користе у индустрији, и да се њима постижу бројне предности раличитих карактеристика у односу на класичне алатне машине. Даљим анализирањем долази се до закључка да машине поседују савремене управљаче јединице, погонске системе, мерне системе и др. док су они много боље развијени него код класичних алатних машина чиме се добијају много прецизнији делови, сложеније геометрије, бољег квалитета, и др. предности. Детаљном обрадом сензора код CNC машина долази се до закључка да сензори имају веома велику и битну улогу када је реч о примени сензора код CNC машина. Приказивањем начина рада, поделе и практичне примене енкодера, може се закључити да су они веома битни и да константно напредују и да се развијају на основу нових захтева тржишта. Анализом пете тачке овог рада, односно практичне примене енкодера, долази се до закључка да енкодери имају веома велику и широку примену не само код CNC машина, већ и у многим другим индустријским областима као што је медицина, војна, аутомобилска индустрија и др. Самим тим долази се до закључка да су енкодери веома корисни и веома битни производи. Даљим анализирањем долази се до закључка да постоје различите врсте и облици енкодера код CNC, што зависи од саме намене и потребе.

## 7. Литература

- [1] др. Богдан Недић, Нумерички управљане алатне машине-CAM системи, Факултет инжењерских наука, Крагујевац
- [2] Катедра за производно машинство, Компоненте нумерички управљаних алатних машина, Машински факултет, Ниш 2002
- [3] др. Стјепан Панић Нумерички управљане машине, Висока пословно техничка школа, Ужице 2009
- [4] Блажевић, З ; CNC – скрипта
- [5] Младен Бошњакловић, Нумерички управљани алатни стројеви,
- [6] <http://www.stari.tehnickaue.edu.rs/srp/cas/?conid=699> приступљено 11.08.2019
- [7] др. Богдан Недић, Вишеосне ЦНЦ машине, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2016
- [8] др Вучко Мечанин, Алате машине са нумеричким и компјутерским управљањем, Машински факултет, Мостар 1988
- [9] <http://srla.recicncclaser.com/plasma-cutting-machine/cnc-plasma-cutter.html>приступљено 20.08.2019
- [10] <http://srla.bossmancnc.com/cnc-drilling-machine/cnc-metal-plate-drilling-machine/cnc-drilling-and-minlling-machine.html> приступљено 20.08.2019
- [11] <https://www.teximp.com/sr/CNC-glodaki-centri> приступљено 20.08.2019
- [12]<http://ba.dmtg-ht.com/new-machine-model/t3040d-slant-bed-cnc-lathe.html> приступљено 20.08.2019
- [13]<https://metal-kovis.hr/shop/cijena/cnc-tokarski-stroj-ck6140-siemens-sinumerik-808d-hid-glava-za-stezanje>приступљено 20.08.2019
- [14] <https://mehatronika.gomodesign.rs/enkoderi-i-linearni-davaci-polozaja/> приступљено 20.08.2019
- [15]<https://www.slideserve.com/calvin-fischer/merenje-u-regulisanim-elektromotornim-pogonima>приступљено 20.08.2019
- [16] [https://www.viser.edu.rs/uploads/2018/11/EAS,%20Prezentacije\\_4.pdf](https://www.viser.edu.rs/uploads/2018/11/EAS,%20Prezentacije_4.pdf) приступљено 20.08.2019
- [17] <https://www.automatika.rs/baza-znanja/senzori/enkoderi.html> приступљено 20.08.2019
- [18]<https://www.haascnc.com/service/troubleshooting-and-how-to/troubleshooting/spindle-encoder---troubleshooting-guide.html> приступљено 30.08.2019
- [19][https://www.holmarc.com/michelson\\_interferometer\\_compact.php](https://www.holmarc.com/michelson_interferometer_compact.php)приступљено 30.08.2019
- [20][https://www.photonics.com/Articles/White\\_Light\\_Interferometry\\_for\\_Highly\\_Accurate/a63736](https://www.photonics.com/Articles/White_Light_Interferometry_for_Highly_Accurate/a63736)приступљено 30.08.2019
- [21] <https://www.anaheimautomation.com/manuals/forms/encoder-guide.php> приступљено 30.08.2019
- [22]<https://www.exportersindia.com/accreteautomation/optical-linear-encoder-system-india-1275033.htm>приступљено 30.08.2019
- [23] [https://lista.mercadolivre.com.br/regua-linear-encoder-incremental-encoder-linear-regua-ttl\\_NoIndex\\_True](https://lista.mercadolivre.com.br/regua-linear-encoder-incremental-encoder-linear-regua-ttl_NoIndex_True) приступљено 30.08.2019
- [24] <http://ritmindustry.com/catalog/incremental-rotary-encoders/incremental-rotary-encoder-magnetic-non-contact-high-resolution/>приступљено 30.08.2019
- [25] <http://ritmindustry.com/catalog/incremental-rotary-encoders/incremental-rotary-encoder-magnetic-non-contact-high-resolution/>приступљено 30.08.2019
- [26] <http://www.plc-bh.com/proizvodi/enkoderi/> приступљено 30.08.2019

- [27] <http://www.plc-bh.com/proizvodi/enkoderi/>приступљено 30.08.2019
- [28] <https://automatizacija.rs/sr/rotacionienkoderi/apsolutni-ekoder-128-podeoka-7-bitni>приступљено 30.08.2019
- [29] <http://www.plc-bh.com/proizvodi/enkoderi/> приступљено 30.08.2019
- [30] [http://www.fagorautomation.ru/files/cat\\_linear\\_encoders.pdf](http://www.fagorautomation.ru/files/cat_linear_encoders.pdf) приступљено 30.08.2019
- [31] [http://www.roundssencoder.com/app\\_list.asp?id=9](http://www.roundssencoder.com/app_list.asp?id=9) приступљено 30.08.2019
- [32] <https://www.heidenhain.us/resources-and-news/encoders-for-cnc-machining-applications/>
- [33] <http://people.etf.unsa.ba/~jvelagic/laras/dok/Lekcijam6.pdf>