

RAZVOJ I TESTIRANJE MODULA KASKADE U SISTEMU VAZDUHA POD PRITISKOM**DEVELOPMENT AND TESTING OF THE CASCADE MODULE IN THE COMPRESSED AIR SYSTEM**Todor Buač, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast - INDUSTRIJSKO INŽENJERSTVO**

Kratak sadržaj – U ovom radu je prikazan razvoj modula kaskade kao i primena u sistemima vazduha pod pritiskom. Uređaj služi za sistemsko rešavanje pojave neželjenog signala u sistemu vazduha pod pritiskom. Za potrebe testiranja funkcionalnosti modula kaskade meren je parametar protoka vazduha pod pritiskom i poređen je sa komercijalno dostupnom metodom taktnih lanaca za isti problem. Rezultati su detaljno prikazani i analizirani.

Ključne reči: Kaskadna metoda; Pneumatsko upravljanje; Potrošnja vazduha pod pritiskom; Taktni lanci

Abstract – This paper presents the development of the cascade module as well as its application in compressed air systems. The device is used to systematically solve the appearance of an unwanted signal in the pressurized air system. For the cascade module testing purpose, the consumption of compressed air was measured and compared with the same parameter of commercially available stepper module method for the same problem. The results are presented and analyzed in detail.

Keywords: Cascade method; Pneumatic control; Consumption of compressed air; Stepper module

1. UVOD

Često se u pneumatskim sistemima pojavljuju upravljački problemi koje treba rešiti. Rešenja su različita i shodno tome se može reći da postoji više mogućnosti podela, a jedna od njih je:

- Postiskivanje signala.
- Poništavanje signala.
- Sistemsko rešavanje upravljačkog problema.

Potiskivanjem signala se neželjeni signal potiskuje nekim jačim signalom dok se kod poništavanja signala neželjeni signal uklanja namenskim komponentama ili sistemski prilazom određenim povezivanjima u delu pneumatske šeme gde se neželjeni signal pojavljuje. U slučaju sistemskog rešavanja upravljačkog problema pojava nepoželjnog signala se neutralizuje korišćenjem posebno definisanih metoda, tj primenom dodatnih memorijskih ili sličnih komponenti [1]. U ovom radu izvršen je razvoj sistema, tj modula kaskade za potrebe sistemskog rešavanja upravljačkog problema pojave neželjenog signala pomoću dodatnih komponenti.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Jovan Šulc, vanr. prof.

1.1 Sistemsko rešavanje upravljačkog problema pomoću dodatnih komponenti

Osnovna ideja, za rešavanje upravljačkog problema na sistemski način, je da se dozvoli pojava signala samo u onom trenutku kada je on potreban. Ovo se može postići na dva načina:

- poništavanjem signala posle davača signala ili
- da se davač signala napaja vazduhom pod pritiskom samo u onom momentu kada je potrebno da se iskoristi njegov signal.

To se najčešće realizuje dodavanjem posebnog preklopnika (jednog ili više njih). Za realizaciju funkcije preklopnika se koriste bistabilni razvodnici.

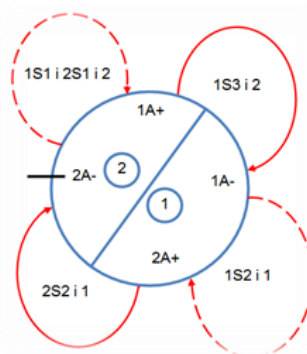
Da bi se moglo pristupiti rešavanju upravljačkog problema primenom preklopnika kao i primenom mehaničkih sekvencera, moraju se prvo, na osnovu određenih kriterijuma, identifikovati separatne grupe upravljačkih aktivnosti, odnosno koraka upravljanja [1].

1.2 Formiranje upravljačkog kola i delimičnih upravljačkih kola

Prvi korak u formiranju takozvanih delimičnih upravljačkih kola ili krugova, je zasnovan na primeni kriterijuma da se u istom delimičnom upravljačkom kolu (DUK), ne mogu naći suprotne aktivnosti istog cilindra. Primer identifikovanja tih aktivnosti predstavljen je na Slici 1.

U cilju smanjenja broja impulsnih memorijskih ventila na najmanju moguću meru, prilikom realizacije minimalne forme, potrebno je formirati najveće moguće DUK-ove, odnosno DUK-ove sa što je moguće više upravljačkih aktivnosti.

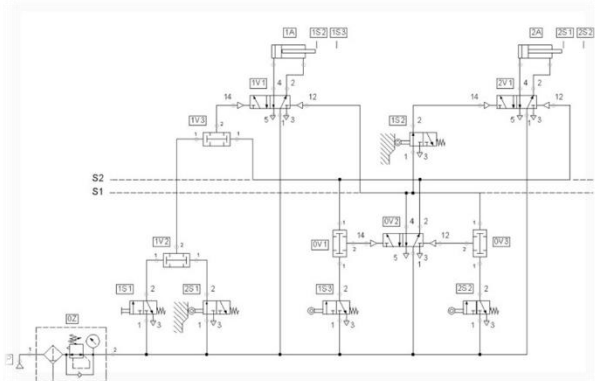
U skladu sa navedenim, dat je primer podele upravljačkog kruga na DUK-ove, prikazan na Slici. 1.



Slika 1. Primer upravljačkog kruga

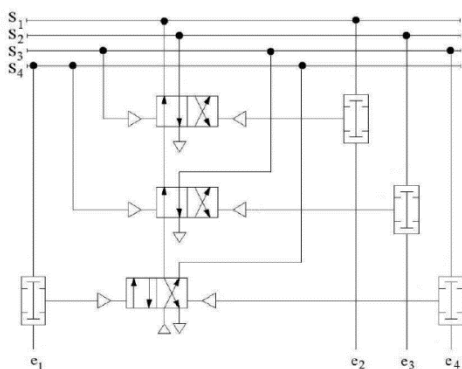
2. KASKADNA METODA

Istaknuto je da sistemske metode koje se razmatraju u okviru ovog rada koriste dodatni memorijski ventili u funkciji preklopnih ventila. Ugradnja preklopnih ventila u šemu može da se izvrši na razne načine. Najjednostavniji slučaj je kada se analizom upravljačkog kruga dobije podela na samo dva DUK-a. Onda se kaskadna metoda svodi na jednostavan slučaj, gde se koristi jedan preklopnik u šemi kao što je prikazano na Slici 2, preklopnik 0V2.



Slika 2. Upravljačka šema sa jednim preklopnikom

Ipak se javljaju i složeniji upravljački zadaci, pa je potreban i veći broj preklopnika. Preklopnici se kaskadnom, rednom vezom postavljaju i povezuju na upravljačkoj šemi kao što je i prikazano na Slici 3. sa 3 preklopnika.



Slika 3. Kaskadno povezivanje sa tri preklopnika

Broj preklopnika je jednak broju DUK-ova, u okviru upravljačkog kruga, umanjeno za jedan.

2.1 Karakteristike kaskadne metode

Kaskadna metoda je među prvim metodama koje su se koristile za sistemsko rešavanje upravljačkog problema u pneumatskoj upravljačkoj tehnici i, zbog svojih dobrih osobina, još uvek je u upotrebi.

Dobre osobine ove metode su:

- sistemski rešava upravljački problem,
- formira se od standardnih komponenti jer ne zahteva nikakve specijalne komponente i
- često je prisutna u praksi, naročito ako su u pitanju varijante upravljanja sa dva ili tri DUK-a, tako da je dobro poznaju kako projektanti upravljanja tako i održavaoci u fabrikama.

Međutim, postoje i određena ograničenja, odnosno nedostaci ove metode:

- ograničena je na primenu do 3 preklopnika odnosno za rešavanje upravljačkih zadataka sa do četiri DUK-a,
- pri realizaciji komplikovanijih šema dovodi do većeg pada pritiska jer se kompletno rešenje upravljanja snabdeva iz samo jednog izvora,
- kod većeg broja DUK-ova (tri i četiri), veoma je komplikovana za povezivanje i puštanje u rad,
- u slučaju zastoja i kvarova tokom upotrebe, teško je otkriti uzrok zastoja.

2.2 Taktni lanci

Za potrebe testiranja u radu korišćeni su i taktni lanci. Pravila za formiranje upravljačkog kruga sa DUK-ovima su identična kao kod kaskadne metode. Osnovna ideja na kojoj su zasnovani taktni lanci je da se omogući da svaki preklopnik ima sopstveno napajanje vazduhom pod pritiskom kako ne bi dolazilo do pada pritiska. Kod taktnog lanca su preklopni ventili postavljeni jedan pored drugog i paralelno povezani svaki sa svojim napajanjem i sa svojim izlazom.

2.3 Trenutno stanje i cilj rada

U laboratorijskim prostorijama Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu, vrši se edukacija studenata iz oblasti pneumatskih upravljačkih šema. Prilikom povezivanja upravljačke šeme može da se javi više problema. Neki od njih su, curenja, nedovoljno jako ubacivanje creva u priključke, pogrešno izabrane komponente i slično. Kako se u naprednoj pneumatici neke upravljačke šeme povezuju i po par sati, na osnovu toga može da se zaključi da je to jedan kompleksan upravljački sistem i ako se pojavi otkaz u sistemu dosta vremena je potrebno da bi se greška i otklonila. U ovom trenutku za potrebe realizacije sistema za poništavanje neželjenih signala metodom kaskade koriste se standardne komponente kojih ima dosta i koje ako korisnik ne razmisli dobro, o tome gde će da ih postavi na ispitnom stolu, može da dođe do jednog neuređenog sistema koji često ne radi nakon povezivanja. U tom slučaju, jedino rešenje je da korisnik sve raskladi sve distributivne vodove i krene ispočetka.

Iz svih gore navedenih razloga, cilj ovog rada je da se razvije i fizički realizuje blok modul kaskade na jednoj ploči na kojoj će se nalaziti sve komponente potrebne za

realizaciju modula kaskade, u maksimalno preporučenoj formi. Komponente koje su potrebne za realizaciju su "I" ventili, razvodni ventili- preklopnici i pneumatske linije.

Dodatni cilj je da se da predlog korisniku za što lakše i brže korišćenje razvijenog modula kaskade, za slučajeve kada se koriste jedan, dva ili tri preklopna ventila u sistemu vazduha pod pritiskom.

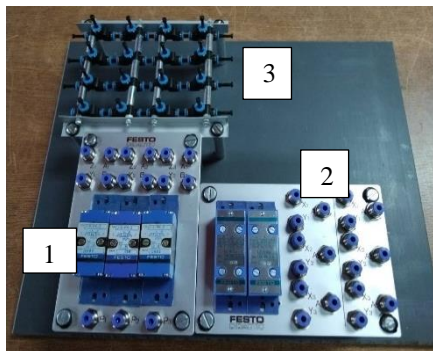
3. RAZVOJ MODULA KASKADE U SISTEMU VAZDUHA POD PRITISKOM

Nakon uvodne analize, projektovan je novi modul kaskade sa svim odgovarajućim komponentama i ciljem da se nakon implementacije u pneumatski sistem ispune zahtevi, kao što su fleksibilnost, tehno-ekonomska isplativost i potrošnja vazduha pod pritiskom.

3.1 Mehanička konstrukcija uređaja

Jedan od glavnih zahteva koji modul kaskade treba da poseduje jeste da sve komponente treba da budu integrisane u jednu celinu i da omoguće krajnjem korisniku

jednostavno i brzo rukovanje. Na Slici 4. prikazano je realizovano rešenje modula kaskade nakon izrade i povezivanja mašinskim delovima.



Slika 4. Realizovano praktično rešenje modula kaskade

Sam modul kaskade se sastoji od tri segmenta:

1. Segment sa razvodnim ventilima, preklopnici
2. Segment sa „I“ ventilima i
3. Segment sa pneumatskim T računama.

Korišćene su aluminijumske ploče koje su izdignute pomoću aluminijumskih cevi u toj meri da omoguće povezivanje svih priključaka ispod ploča pneumatskim distributivnim vodovima, tj. crevima.

Preostali, prazan deo na baznoj ploči, ostavljen je za postavljanje opšte upravljačke šeme metode kaskade i dodatnih pojašnjenja (oznaka).

Segment sa razvodnim ventilima, preklopnici se sastoji od tri 5/2, bistabilna, pneumatski aktivirana razvodnika firme FESTO (Slika 4, pozicija 1). Kataloška oznaka im je J-5-PK-3. Pored samih razvodnika na ploči se nalaze i pregradni priključci, proizvođača CDC oznake PMM-4. Njihova uloga je da se priključci sa razvodnih ventila koji se nalaze ispod aluminijumske ploče dovedu iznad aluminijumske ploče premošćavanjem crevima i pregradnim priključcima. Pored svakog priključka na razvodnom ventilu se nalaze oznake: A, B – radni priključni vodovi, R, S – priključak za odzračivanje, P, - priključak za dovod vazduha pod pritiskom, Z i Y - priključci za dovođenje radnih upravljačkih vodova.

Analogno ovim priključcima pored svakog pregradnog priključka na aluminijumskoj ploči stoji odgovarajuća oznaka: A1, B1, Z1, Y1 i P1 gde indeks 1 znači da taj priključak odgovara priključku sa prvog razvodnog ventila u segmentu komponente.

Nogare na kojima se nalaze aluminijumske ploče su fiksirane sa jedne strane vijcima a sa druge strane navrtkom. Na taj način je obezbeđen spoj sa glavnom pločom.

Naredni segment je segment sa „I“ ventilima (Slika 4, pozicija 2). Za potrebe realizacije „I“ funkcije korišćene su dve komponente gde je u svakoj ugrađeno po 3 „I“ ventila. Kako je maksimalan potreban broj „I“ ventila četiri, dva su ostala slobodna i nisu se koristila za potrebe realizacije modula kaskade. Tip komponente je ZK-PK-3-6/3 i proizvedena je od strane firme FESTO. Povezivanje

ovog segmenta je identično kao i prethodnog za aluminijumsku ploču. Oznake koje se nalaze na bloku komponente „I“ ventila su: X1, Y1 i A1 dok se iste takve oznake nalaze i na pregradnim priključcima. Vertikalnom linijom između pregradnih priključaka su podeljeni priključci koji se odnose na prvi i drugi blok integrisanih „I“ ventila.

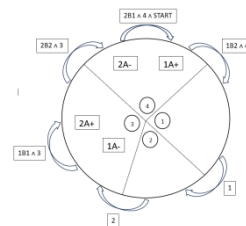
Preostali segment je sa pneumatskim pomoćnim komponentama (Slika 4, pozicija 3). Za potrebe realizacije linija izlaznih signala sa preklopnika S1, S2, S3 i S4, opšteg bloka, Slika 3., korišćene su T računice, tipa QST-4. T računice su međusobno povezane krutim utičnim rukavcima, tipa QSH-4. Na T računama se nalaze odgovarajući čepovi, tipa QSC-4H. Sve pomenute komponente trećeg segmenta su od proizvođača FESTO. Između T računice su postavljeni distanceri kako bi krajnjem korisniku bio olakšan prilaz prilikom postavljanja creva. Navojnim šipkama su sve računice fiksirane i svedene na istu ravan. Korišćeni su aluminijumski L profili za spregu sa aluminijumskim cevima tj. nogarama kao i u slučaju prethodnih segmenata za potrebe spajanja sa glavnom pločom. Distribucija vazduha pod pritiskom obezbeđena je korišćenjem creva tipa PUN-4x0,75, proizvođača FESTO.

4. EKSPERIMENTALNA POSTAVKA

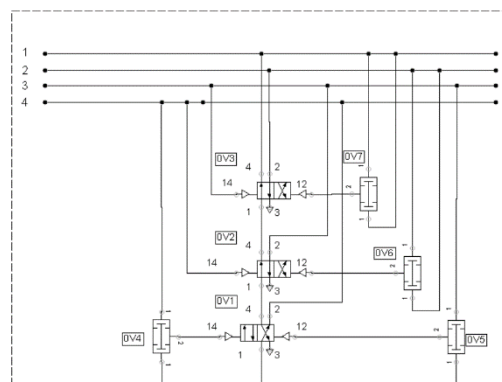
Za potrebe testiranja realizovano je više upravljačkih šema. Biće predstavljen jedan primer. Moguće su tri varijante realizovanja upravljačke šeme.

Prva varijanta upravljačke šeme je klasično rešavanje upravljačkog problema. Zavisno od broja DUK-ova je određen broj preklopnika. Važi pomenuto pravilo da je broj preklopnika za jedan manji od broja DUK-ova.

Druga varijanta upravljačke šeme, Slika 5b, podrazumeva da se koriste sve grane i vazduh pod pritiskom mora da prođe kroz sve DUK-ove. Ovo znači da ako se u upravljačkom krugu pojavi manje od četiri DUK-a, tada će se ti nedostajući DUK-ovi premostiti. Odnosno, da će se nedostajući DUK-ovi pojaviti u sredini upravljačkog kruga, tj. neće zauzeti mesto prvog niti četvrtog (poslednjeg) DUK-a, Slika 5a.

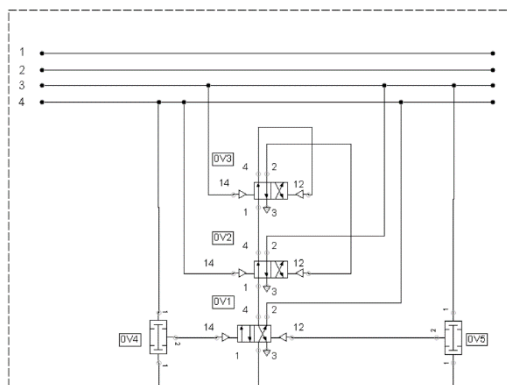


Slika 5a. Upravljački krug sa premošćavanjem DUKova



Slika 5b. Upravljačka šema sa premošćavanjem DUKova

Treća varijanta upravljačke šeme, kada se koriste svi preklopni ventili sa razvijenog modula kaskade i odgovarajući broj grana. Ako se nakon rešavanja upravljačke šeme dobiju dva DUK-a, Slika 1, to znači da će korisnik sistem da koristi dve grane i sve preklopne ventile, Slika 6. Ako se nakon rešavanja upravljačke šeme dobiju tri DUK-a, to znači da će korisnik sistem da koristi tri grane i sve preklopne ventile.



Slika 6. Upravljačka šema sa svim preklopnicima i standardnim brojem DUKova

Sva potrebna merenja su izvršena u laboratoriji za Mehatroniku, na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu, korišćenjem razvijenog modula kaskade i modula taktih lanaca.

Izlaz iz pripremljene grupe je povezan na ulaznu stranu AirBox-a [2]. Uređaj AirBox, pod oznakom GHDA-FQ-M-FDMJ-A, služi za merenje protoka, pritiska, temperature i testiranja kvaliteta vazduha pod pritiskom. Da bi izmerili protok tj. koju količinu vazduha pod pritiskom troši svaka od varijanti upravljačke šeme, izlaz AirBox-a prenosi napajanje do ostatka upravljačke šeme. Uz pomoć desktop aplikacije [2], izvršen je proračun ukupne potrošnje vazduha pod pritiskom za svaku varijantu upravljačke šeme i rezultati su prikazani u litrama po minuti.

4. POREĐENJE DOBIJENIH REZULTATA

U cilju poređenja rezultata merenja, pored standardnog rešenja metodom preklopnika, testirana su i rešenja: sa četiri DUK-a i premošćavanjem DUK-ova, sa dva DUK-a i svim preklopnicima i pomoću taktih lanaca.

4.1 Poređenje potrošnje vazduha pod pritiskom

U ovom potpoglavlju su, prikazani dobijeni rezultati merenjem potrošnje vazduha pod pritiskom, Tabela 1.

Tabela 1. Rezultati merenja potrošnje vazduha

Potrošnja u l/min	2 DUKa Zad. 1	3 DUKa Zad. 2	4 DUKa Zad. 3
Standardno	36,3	36,3	36,57
Premošća. DUK	36,72	36,5	/
SVI Preklopni.	36,42	36,46	/
Taktni lan.	36,42	36,13	36,54

Na osnovu rezultata merenja i jednostavnog proračuna može se uočiti da je potrošnja vazduha pod pritiskom i kod metode taktih lanaca i kod metode kaskade približna.

4.2 Tehno ekonomska analiza

Pošto je vazduh pod pritiskom veoma skup izvor energije, poželjno je izvršiti i tehno ekonomsku analizu dobijenog rešenja. S obzirom da je prosečna potrošnja vazduha pod pritiskom približno ista za obe metode u ovoj analizi će se uzeti u obzir samo onaj deo opreme za upravljačke sisteme koji je specifičan za pojedine vrste upravljanja dok se zajednička oprema neće razmatrati.

Ukupna cena komponenti za realizaciju modul kaskade i taktne lance je približno ista i iznosi oko 1200 €. Detaljna specifikacija svih komponenti se može naći u samom master radu.

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu je realizovan jedinstven hardverski deo sistema - modul kaskade, detaljno opisan i ilustrovan. Prvi put je sprovedeno upravljanje istim zadatkom u tri varijante metodom kaskade: standardnom, sa premošćavanjem DUK-ova, i sa svim preklopnim ventilima. Po prosečnoj potrošnji vazduha, metoda kaskade je slična metodi taktih lanaca, koja je komercijalno dostupna. Tehno-ekonomska analiza pokazala je da je cena približno ista, dok metoda kaskade ima prednost modularnosti, omogućavajući upotrebu opreme za druge potrebe. Korišćenjem maksimalnog preporučenog broja preklopnih ventila, mogu se realizovati zadaci sa manjim brojem DUK-ova, što korisniku daje mogućnost brže implementacije.

Preporuke za poboljšanja i dalja istraživanja:

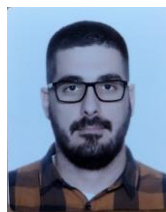
- Uvođenje QR kodova za instrukcije korisnicima,
- Ispitivanje metode kaskade sa više DUKova i poređenje sa taktim lancima,
- Merenje potrošnje vazduha za jedan radni ciklus i uporedna analiza sa metodom taktih lanaca i
- Unapređenje mehaničke konstrukcije sa signalnim elementima za brže otkrivanje i otklanjanje grešaka.

6. LITERATURA

[1] D. Šešlija, "Automatizacija procesa rada – pneumatske komponente i sistemi", Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2020. (broj 879)

[2] D. Lazić, "Razvoj aplikacije za rešavanje problema manuelnog računanja potrošnje vazduha pod pritiskom", FTN, 2023

Kratka biografija:



Todor Buac rođen je u Kninu 1990. god. Diplomski rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Mehatronike sa temom Razvoj daljinskog upravljanja prigušno nepovratnog ventila odbranio je 2017. god. Kontakt: todorbuac@hotmail.com