

# KARAKTERISTIKE DIZEL ELEKTRIČNIH AGREGATA, PRIMENA, IZBOR, ODRŽAVANJE

## CHARACTERISTICS OF DIESEL ELECTRIC GENERATORS, APPLICATION, SELECTION, MAINTENANCE

<sup>1</sup>Stanko Stankov, <sup>2</sup>Saša Arsić

<sup>1</sup>Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet, A. Medvedeva 14, Niš, Srbija  
, <sup>2</sup>Elektrodistribucija Prokuplje

**Rezime:** Prekid napajanja električnom energijom je nepoželjna pojava, a često i nedopustiva u mnogim industrijskim postrojenjima i procesima. Rizici od zaustavljanja proizvodnje u raznim pogonima, pri čemu mogu nastati veliki gubici, nametnuli su potrebu za besprekidnim napajanjem. Jedan od uređaja koji obezbeđuje neprekidno napajanje električnih potrošača je dizel električni agregat, koji pretvara toplotnu energiju nastalu pri sagorevanju goriva u električnu struju. Iskustvo i analize pokazuju da investiranje u rezervne izvore napajanja poput dizel agregata je isplativo, imajući u vidu eventualne troškove koji nastaju, u slučaju prekida proizvodnje. Osim u industriji, potrebe za rezervnim napajanjem imaju mnogobrojne ustanove i institucije, kao što su bolnice, škole, hoteli i dr. U radu su date osnovne karakteristike agregata, primena, njihov izbor prema određenim kriterijumima i održavanje tokom eksploatacije.

**Ključne reči:** besprekidno napajanje, dizel električni agregat, izbor, održavanje

**Abstract:** Interruption of power supply is undesirable appearance, and often unacceptable in many industrial plants and processes. The risks of stopping of production at various plants, where they can be a great loss, impose the need for uninterruptible power supply. One device that provides a continuous supply of electric power consumers is a diesel generator, which converts thermal energy resulting from combustion of fuel into electric current. Experience and analysis show that investment in backup power sources such as diesel engines is profitable, taking into account any costs that arise in the event of interruption of production. Except in the industry, the need for reserve power supply have multiple institutions such as hospitals, schools, hotels and others. This paper presents the basic characteristics of aggregates, application, selection according to specific criteria and maintenance during operation.

**Key words:** uninterruptible power supply, diesel electrical generator, choice, the maintenance

### 1. UVOD

Dizel električni agregati su mašine koje pretvaraju mehaničku energiju u električnu. Primenuju se na mestima gde je neizbežno ili nemoguće vođenje električne mreže kao osnovni izvori električne energije, a u velikoj meri se koriste kao rezervni izvori napajanja. Proizvode se u dijapazonu snaga od 1 kVA do 5 MVA i više. Snažni dizel agregati su u suštini male elektrane. Oni ponekad služe ne samo za rezervno napajanje, već i kao kapaciteti, koji potpomažu elektroenergetski sistem u uslovima vršnog opterećenja.

Kod projektovanja elektroenergetskog napajanja objekata (industrijskih, javnih, stambeno – poslovnih i dr.) planira se mrežno napajanje i napajanje prioritetnih potrošača pomoću agregata. Potrošači visokog prioriteta najčešće su: deo osvetljenja, računari, sigurnosni sistemi (protivpožarna instalacija, video nadzor i alarmna zaštita), telefonska centrala, KGH sistem – klimatizacija, grejanje, hlađenje, UPS/Data centar, sprinkler system, pumpe). Agregati su najčešće s pogonom na dizel gorivo, a u novije vreme i s pogonom na biodizel i gas. U normalnom režimu rada svi potrošači se napajaju iz mreže. U slučajevima nestanka napajanja ili lošeg napajanja (znatno smanjena vrednost napona, oscilacije amplitude i/ili frekvencije) iz elektroenergetskog sistema isključuju se potrošači, koji se automatski priključuju na agregatsko napajanje. Nakon stabilizacije i uspostavljanja vrednosti parametara napona elektroenergetskog sistema u okviru definisanih vrednosti, automatski se isključuje agregat i uključuje se napajanje sa mreže.

Ovi agregati se koriste kod raznih građevinskih mašina, kod prevoznih sredstava, dizel lokomotiva, brodova i td. Koriste se za rezervno napajanje u bolnicama, školama, hotelima i sličnim institucijama. Životni vek dizel agregata je oko 50000 sati, maksimalno do 100000 sati, uz pravilnu eksploataciju i s planiranim remontima posle 200 ÷ 300 sati neprekidnog rada [1, 2, 3].

## 2. KARAKTERISTIKE I PARAMETRI DIZEL AGREGATA

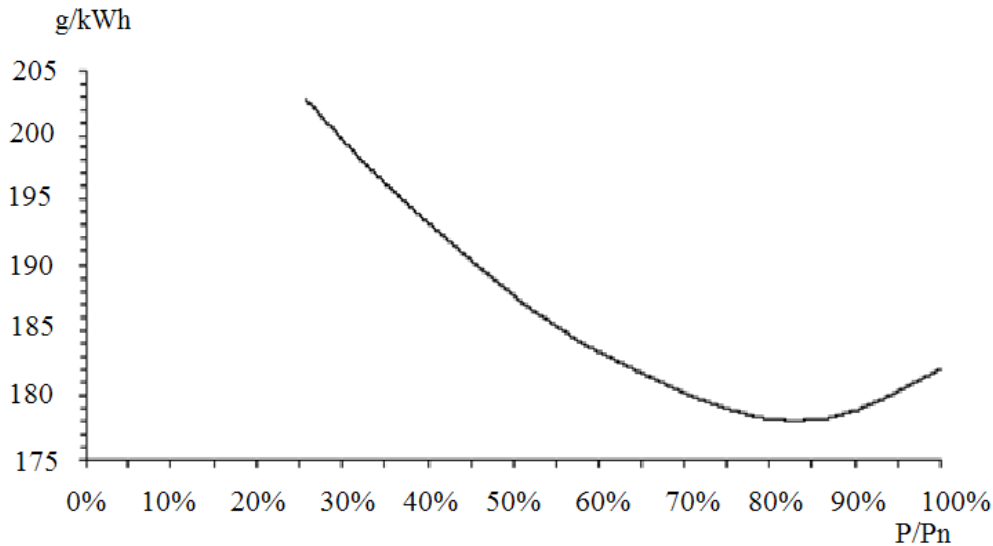
Osnovna odlika dizel električnih agregata je njihov autonoman rad i potpuna nezavisnost od planskih i neplanskih isključenja i ispada mreže. To su kompaktni sistemi, s relativno visokim stepenom korisnog dejstva (do 47 %) i relativno lakom regulacijom snage u opsegu 10 % do 90 % nominalne vrednosti. Toplota koja se oslobađa prilikom rada dizel agregata može se iskoristiti za pripremu tople vode. Savremeni agregati ispunjavaju stroge ekološke zahteve. U odnosu na agregate s pogonom na benzin, dizel agregati oslobađaju značajno manju količinu teških metala i drugih štetnih satojaka kroz izduvne gasove. Nove generacije dizel agregata su izuzetno pouzdani uređaji, sa niskim nivoom šuma (ispod 80 dB) i lako se održavaju [2, 3, 4].

### 2.1. Električni parametri

Električni parametri i druge nominalne vrednosti agregata daju se za standardne uslove ambijenta u kome će se instalirati agregat: temperaturni opseg, vlažnost, dozvoljena zaprašenost vazduha, nadmorska visina.

Proizvođači daju vrednost prividne snage izražene u kVA, ili aktivne snage date u kW, koje se mere na klemama generatora. Važan parametar je  $\cos \varphi$ , čija je uobičajena vrednost 0,8. Proizvođači, često u svojim katalogima, daju i ove vrednosti za snagu: dugotrajnu (*prime*) i kratkotrajnu (*stand by*), pri čemu je kratkotrajna snaga za 10 % veća od dugotrajne. Proizvođači daju garanciju da agregat može raditi neograničeno vreme s nominalnom, stoprocentnom ili dugotrajnom snagom. Ukoliko je opterećenje agregata veće od 100%, proizvođač propisuje vreme preopterećenja. Ovo ograničenje je u vezi s termičkim ograničenjima dizel motora. Dizel motor, a samim tim i agregat, radi u optimalnom režimu kada je opterećenje na nivou 75÷80 % nominalnog. Pri ovom opterećenju je najmanja potrošnja goriva. Savremeni dizel motori iskorišćavaju 40 % energije koja je sadržana u gorivu. Ovo je veliki stepen korisnog dejstva u odnosu na druga termička postrojenja. Sa karakteristike prikazane na sl. 1 vidi se da kada opterećenje padne ispod 50% nominalne snage, dolazi do rapidnog pada stepena iskorišćenja. U uslovima malog opterećenja ne dolazi do potpunog sagorevanja smeše, što dovodi do stvaranja čađi, generisanja štetnih sumpornih (SO)<sub>x</sub> i azotnih (NO)<sub>x</sub> oksida. Ova pojava zahteva češće

održavanje. Iz ovih razloga je potrebna optimizacija sistema za proizvodnju električne energije, kako bi generator radio u području optimalne efikasnosti, odnosno 60÷90% opterećenja. O optimizaciji se mora voditi računa u fazi projektovanja. Lakše se postiže optimizacija s većim brojem agregata manjih snaga. S druge strane, ovo iziskuje veće troškove instalacije i održavanja, uz poznatu činjenicu da agregati manjih snaga imaju manji stepen korisnog dejstva [1, 2, 4].



Sl. 1. Potrošnja goriva dizel motora u funkciji opterećenja

## 2.2. Vreme startovanja

Ovo je jedan od najvažnijih parametara svakog dizel agregata. Kod izbora tipa konkretnog modela agregata, pri jednakim drugim uslovima, odlučujući faktor je upravo vreme startovanja. Ovo vreme za savremene dizel agregate je oko 10 s. U tom pogledu, ruski agregat KAS 500 s vremenom startovanja od 5 s bez premca je u svetu.

## 2.3. Vreme autonomije

Ovo je period u kome agregat radi bez spoljnje intervencije. Vreme autonomije zavisi od nekoliko faktora: konstrukcije motora, rezervi goriva i ulja, stepena automatizacije samog agregata. Agregati se u standardnoj varijanti isporučuju s rezervoarima goriva, koji omogućavaju neprekidan rad u trajanju od 6 do 8 sati, u izuzetnim slučajevima i do 24 sata. Za vreme veće od 24 sata neophodna je posebna infrastruktura i rezervoar u kome se meri nivo goriva, a napajanje rezervoara se vrši pomoću pumpe.

## 2.4. Potrošnja goriva

U katalogima proizvođača, kao važan parametar, daje se potrošnja goriva u litrima za jedan sat, pri opterećenju agregata od 50 %, 75 % ili 100 %. Ovo su ipak orijentacioni podaci. Precizniji podatak o potrošnji goriva dobija se u jedinici g/kW/h. Savremeni dizel agregati troše od 160 gr/kW/h (najbolji dizel motori, kao što su Deutz, Volovo, Camins) do 240 gr/kW/h kod ostalih proizvođača. Kod agregata čija je snaga veća od 300 kW, meri se i potrošnja ulja, koja se izražava u procentima potrošnje goriva. Najveći evropski proizvođač dizel električnih agregata je francuska firma SDMO.

## 2.5. Drugi značajni parametri

Dimenzije agregata i težina daju se u kataloškim podacima. Ovi parametri su neophodni za dimenzionisanje prostorije u kojoj se smešta agregat.

### - Litarska masa motora

To je odnos težine motora u kilogramima i radne zapremine cilindra u litrima.

$$G_l = \frac{G_m}{V_{cil}} \frac{[kg]}{[l]}$$

Veličina litarske mase je karakteristika konstrukcije motora, odnosno materijala od koga je sagrađen motor.

### - Specifična masa agregata

Predstavlja količnik težine agregata i njegove nominalne snage

$$G_n = \frac{G_m}{P_{nl}} \frac{[kg]}{[kW]}$$

### - Specifična zapremina agregata

To je odnos zapremine agregata i nominalne snage

$$G_v = \frac{V_{ag}}{P_{nl}} \frac{[m^3]}{[kW]}$$

### - Brzina kolenastog vratila

Brzina kolenastog vratila dizel agregata i rotora generatora, u procesu eksploatacije agregata je takođe važna osobina. Dizel agregati u odnosu na brzinu kolenastog vratila dele se na spore do

$750 \frac{\circ}{\text{min}}$  i brze od  $1000$  do  $3000 \frac{\circ}{\text{min}}$  [2, 3, 4].

## 3. IZBOR DIZEL AGREGATA PREMA SNAZI

Izbor prema snazi zavisi od pretpostavljenog opterećenja. Prema preporukama proizvođača pretpostavljena snaga se može izračunati kao zbir aktivne i reaktivne snage, plus određena rezerva snage. Aktivna snaga se troši na otporna opterećenja (npr. grejači), a reaktivna snaga služi za stvaranje magnetnog polja (transformatori, elektromotori i sl.). Mera za potrošnju reaktivne snage je  $\cos \varphi$ . Npr. ako motor snage  $3\text{kW}$  ima  $\cos \varphi=0,85$ , tada on realno troši snagu  $3000/0,85=3,529 \text{ VA}$ . Kod procene snage dizel agregata potrebno je imati u vidu da sam agregat ima  $\cos \varphi$ , koji iznosi obično  $0,8$ . I ovu vrednost treba uzeti u obzir pri proceni potrebne snage. Neophodno je da se zna i kakva je priroda opterećenja. Kod pokretanja elektromotora, polazne struje su nekoliko puta veće od nominalnih. Smatra se, na osnovu iskustva, da je dobar izbor ako dizel agregat radi sa  $70\%$  nominalne snage [1].

## 4. PUŠTANJE U RAD DIZEL AGREGATA I NUŽNO ISKLJUČENJE

Najčešće se dizel agregat pokreće pomoću elektromotora koji se napaja iz akumulatorskih baterija čiji je napon  $12 \text{ V}$  ili  $24 \text{ V}$ . Ukoliko je potrebna veća startna struja, baterije se sprežu paralelno. Kod nekih tipova agregata sa snagama od  $320$  do  $400 \text{ kW}$ , ugrađena su dva elektromotora. Postoje agregati (snage od  $400$  do  $500 \text{ kW}$ ) koji se pokreću pomoću komprimovanog vazduha. Tu postoje razne konstrukcije, ali sve uglavnom rade na dva načina:

- za prvi način je karakteristično da se vazduh pod pritiskom, koji se dobija od turbo kompresora, pogonjenog pomoću sagorelih izduvnih gasova, direktno dovodi u cilindre motora.

Komprimovani vazduh se hladi svežom vodom ili svežim vazduhom, a zatim se uvodi u komoru za sagorevanje goriva.

- kod drugog načina postoji specijalan pneumatski motor koji služi za pokretanje dizel motora.

Ručni start se koristi kod malih snaga (do 10 kW).

Potpuno isključenje agregatskog i mrežnog napona izvodi se preko naponskih kontakata prekidača, pri čemu ostaju bez napona kablovi koji napajaju potrošače. Isključenje se vrši crvenim gljivastim tasterom "STOP U NUŽDI", koji se postavlja na pristupačnom mestu pored dizel agregata. Nužno isključenje agregata može da se izvrši i od strane protivpožarne central [1].

## 5. HLADENJE

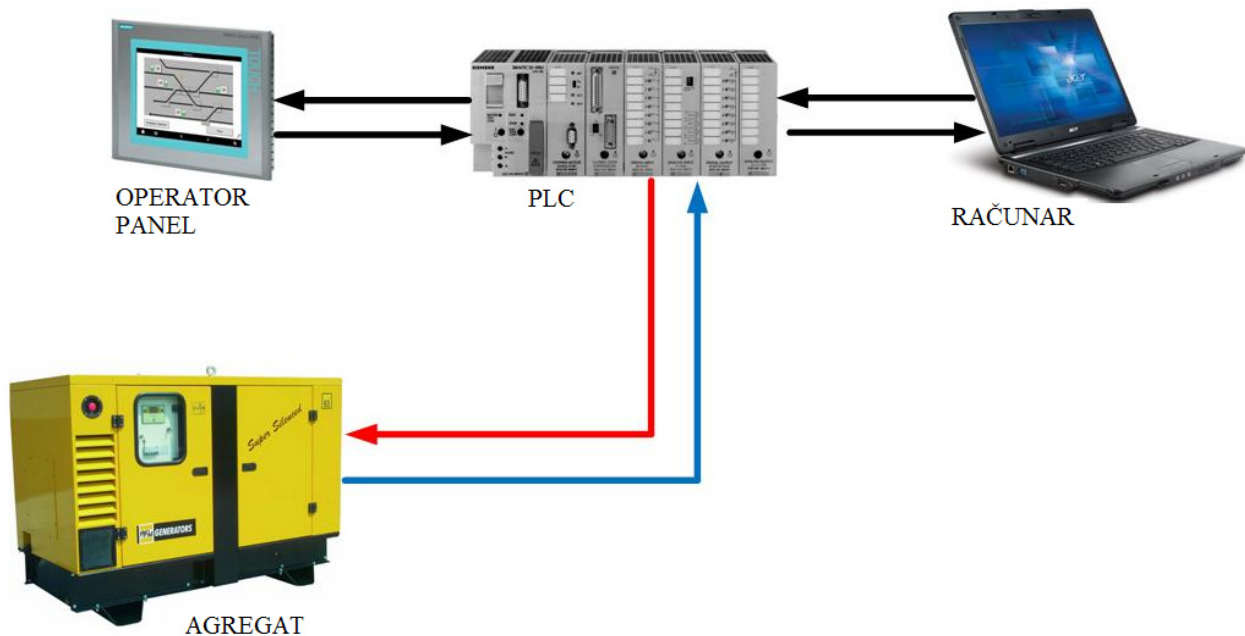
Sinhroni generator koji su u sastavu dizel agregata imaju vazdušno hlađenje pomoću ugrađenog ventilatora. Dizel motori imaju uglavnom radijatorsko hlađenje (vazdušno ili vodeno). Kod nekih agregata manjih snaga (20 ÷ 25 kW) koristi se vazdušno hlađenje. U nekim slučajevima hlađenje motora se vrši putem toplotnog razmenjivača voda/voda. Količina vazduha, koja je potrebna za hlađenje agregata, zavisi od toplote koja se oslobađa sa površine motora, toplote koju oslobađa sam rashladni sistem i toplote koja potiče od generatora. Prilikom određivanja uslova ventilacije u prostoriji u kojoj je smešten agregat, potrebno je sagledati i količinu vazduha, koja je potrebna za sagorevanje dizel goriva, pri čemu treba voditi računa da pritisak u prostoriji bude niži od atmosferskog. Za vek trajanja agregata od značaja je i stepen čistoće vazduha za hlađenje [1, 2].

## 6. UPRAVLJANJE DIZEL AGREGATOM

Upravljačka logika savremenih dizel električnih agregata zasnovana je na primeni PLC (programmable logic controller) kontrolera i operatorskih panela. sl. 2 prikazuje blok šemu upravljanja agregatom. Na operatorskom panelu se vrši zadavanje i pregled veličina i parametara agregata. Program u PLC se unosi preko PC računara. Preko ulaznih analognih i digitalnih modula vrši se akvizicija podataka, a preko izlaznih modula se šalju upravljački signali.

Na ulaze PLC – a dovode se sledeći signali:

- pozicije mikroprekidača krajnjih položaja žaluzina usisne grane,
- pozicije mikroprekidača krajnjih položaja žaluzina izduvne grane,
- nivoi goriva u dnevnom rezervoaru (donji sigurnosni nivo, donji radni nivo, gornji radni nivo, gornji kritični nivo),
- nivo rashladne tečnosti u hladnjaku,
- protok goriva,
- brzina dizel motora,
- temperatura dizel motora,
- pritisak ulja dizel motora,
- temperature rashladnog fluida,
- napon, struja, snaga, frekvencija generatora,
- napon, struja, frekvencija mreže,
- temperature namota generatora,
- napon akumulatora 24VDC,
- statusi kontakata prekidača,
- komunikacija s mikroprocesorskom jedinicom za preključenje mreža-agregat.



**Sl. 2. Blok šema upravljanja dizel agregatom**

Sa izlaza PLC – a vode se sledeći upravljački signali:

- upravljanje ventilatorom prostorije (kontejnera) u kome je smešten agregat,
- upravljanje ventilatorom hladnjaka dizel motora,
- upravljanje elektromagnetnim ventilom dovoda goriva (24VDC), za zaštitu od prevelike brzine,
- upravljanje pumpom za gorivo,
- upravljanje automatskim žaluzinama usisne grane,
- upravljanje automatskim žaluzinama izduvne grane,
- upravljanje grejanjem dizel motora,
- indikacija rada dizel motora,
- indikacija rada generatora,
- indikacija alarmnog stanja.

Siguran i pouzdan rad dizel električnog agregata zahteva realizaciju sledećih funkcija:

- zaštita odgovarajućim osiguračima,
- prekostrujna zaštita i zaštita od kratkog spoja,
- automatsko isključenje generatora, preko prekidača sa elektronski podesivom zaštitom od strujnog preopterećenja i kratkog spoja,
- zaštita od opasnog napona dodira.

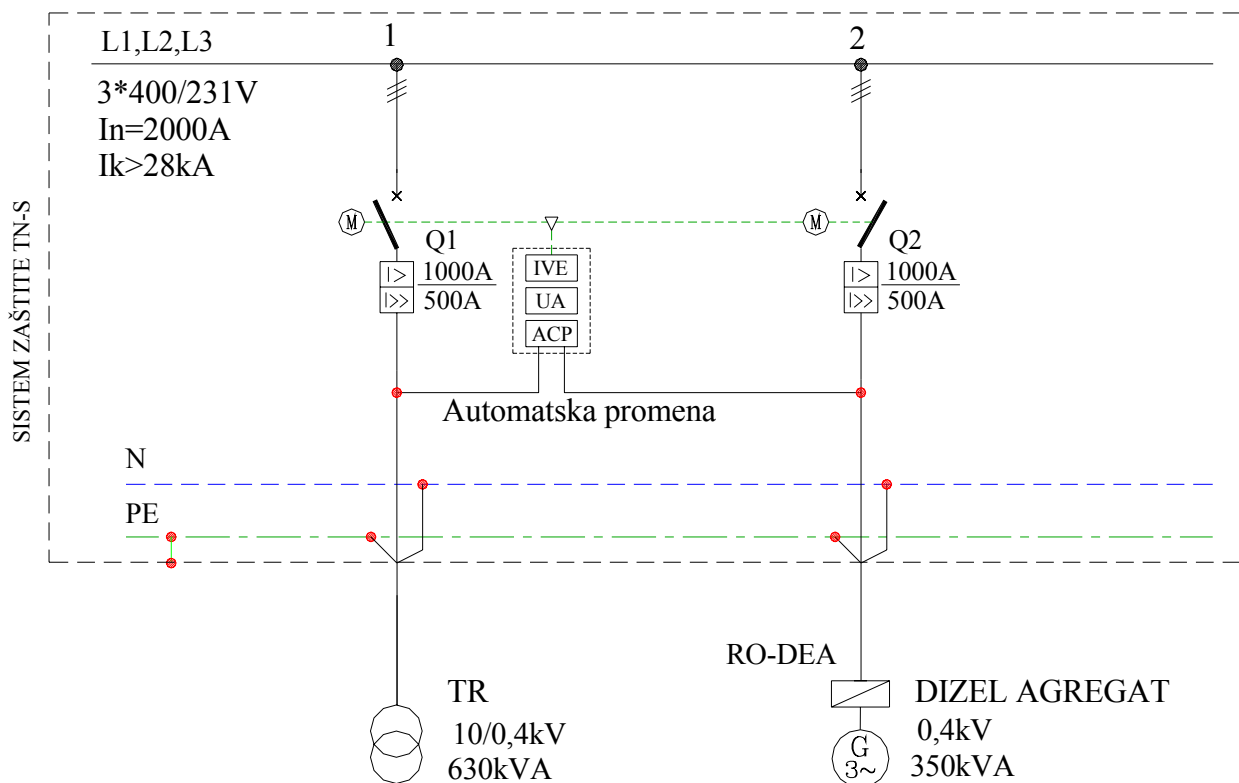
Automatsko isključenje generatora i dizel motora je obavezno u sledećim slučajevima:

- nizak pritisak ulja za podmazivanje dizel motora,
- povećana brzina motora (120 % nominalnog broja obrtaja),
- temperatura rashladnog fluida dizel motora iznad dozvoljene granice,
- temperatura namota generatora iznad dozvoljene granice,
- vrednost struje generatora iznad dozvoljene granice,
- kratak spoj.

U određenim situacijama ne isključuje se prekidač generatora, ali se zaustavlja dizel motor:

- nizak nivo goriva u dnevnom rezervoaru,

- napon generatora za određen iznos izvan dozvoljenih granica,
- frekvencija generatora izvan dozvoljenog opsega.



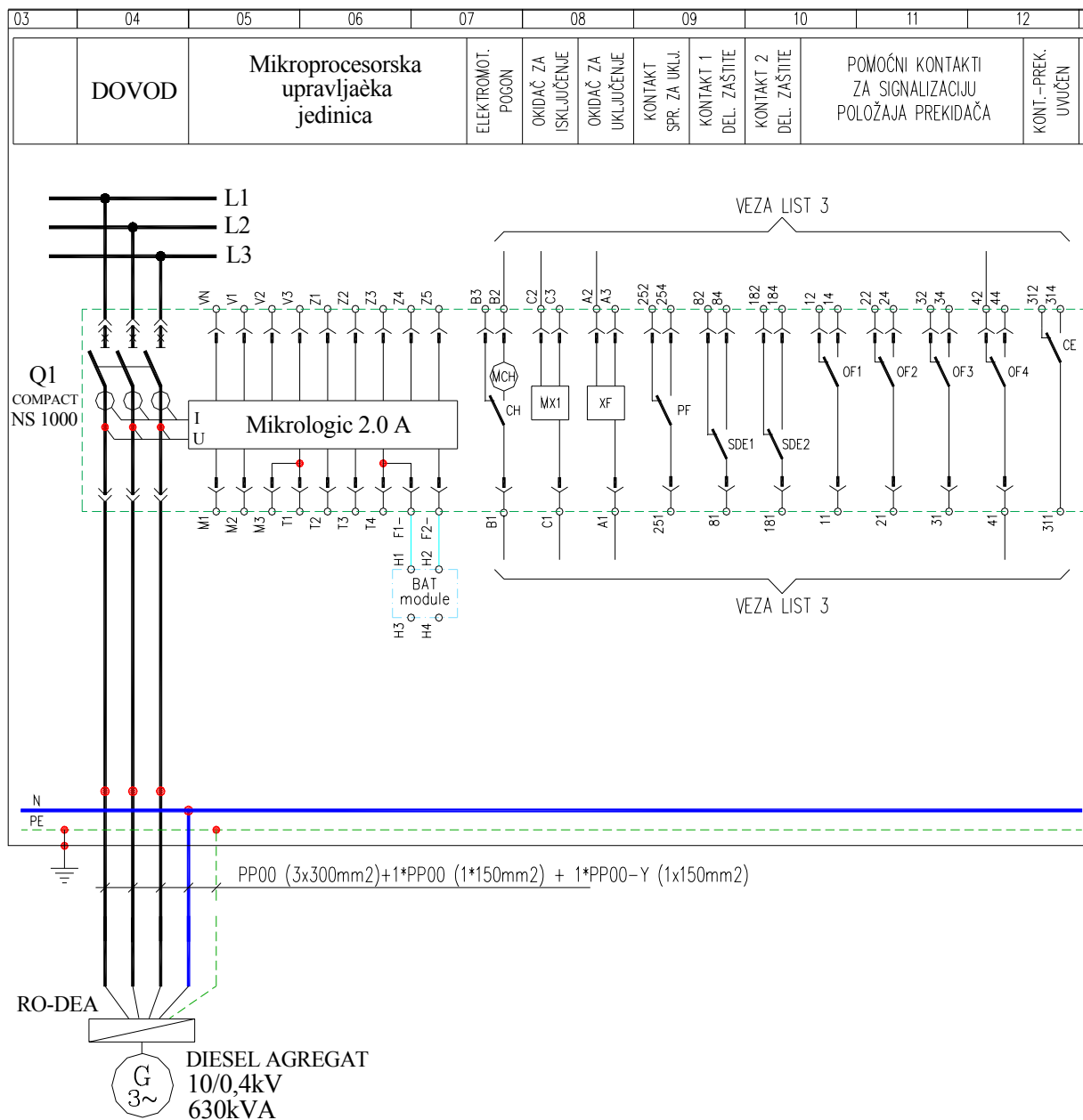
**Sl. 3. Šema preključenja mrežnog napajanja i agregata**

Odstupanja ovih vrednosti izazivaju zvučni i svetlosni alarm.

Na sl. 3 prikazana je šema preključenja. Postoje dva prekidača (Q1 za transformator, a Q2 za dizel agregat) s motornim pogonima. Prekidači su pod nadzorom mikroprocesorske logike koja uključuje prekidač. Mikrologik je u komunikaciji s PLC – om (na sl. 4 data je šema “Micrologic” upravljačke jedinice, firme “Schneider Electric”).

Na grafičkom panelu, koji sadrži veći broj intuitivnih ekrana, prikazuju se karakteristične veličine i parametri dizel agregata u vidu tabela i grafika, poruke alarma, pomoći, upozorenja i signalizacije. Evidentira se opis, lokacija i vrsta događaja. Vršiti se potvrda alarma i pregled baze događaja, generišu se izveštaji s rezultatima realno zapisanih podataka i preporukama operateru. Na osnovu analize podataka stiče se realna slika o stanju opreme.

Funkcijskim tasterima na operatorskom panelu vrši se izbor prikaza (lista, alarmi, stanja i td.). U svakom trenutku mogu se prelistati događaji kao što su: manipulacija prekidačem, nestanak mrežnog napona i sl., ili se mogu videti liste alarma: prorada zaštite, kašnjenje agregatskog napajanja (duže npr. od 30 s), prekoračenje brzine motora, kritičan nivo goriva i dr. Nakon pojave alarma pali se alarmna svetiljka, koja trepće frekvencijom 0,5 Hz, a zvučni signal se isprekidano uključuje svakih 10s u trajanju od 0,5s. Na operatorskom panelu ispisuje se trepćuća poruka s opisom događaja, koji je prouzrokovao alarm. Potvrđivanjem alarma na panelu gasi se zvučni signal, a svetlosni signal ostaje do otklanjanja uzroka alarma. Ako se odjednom pojavi više alarmnih događaja na operatorskom panelu, prvi se ispisuje najnoviji alarm, pri čemu se svaki alarm pojedinačno potvrđuje [1].



**Sl. 2. Blok šema upravljanja dizel agregatom**

## 7. BUKA I VIBRACIJE

Generator buke i vibracija kod dizel električnih agregata je dizel motor. Nove generacije agregata odlikuju se niskim nivoom buke i vibracija. U katalozima proizvođača daju se podaci o nivou buke u dB za rastojanja 1, 3 i 7 m. Buka se smanjuje ugradnjom agregata u izolovani kontejner, ukoliko se instalacija vrši na otvorenom prostoru. U slučaju instalacije u zatvorenom prostoru, primenjuju se obloge kućišta, koje apsorbuju buku, pri čemu se sami zidovi prostorije i plafon pripremaju za apsorpciju zvuka. Posebno se vodi računa u smanjenju buke, koja nastaje u



izduvnoj grani dizel motora. Nekompenzovana buka kod auspuha dostiže vrednost 125÷128 dB, na rastojanju 2÷3 m. Savremeni uređaji su dobro balansirani, tako da je kod njih nivo buke zadovoljavajući. Spoj između motora i generatora izvodi se pomoću fleksibilnih veza, a prenos vibracija sa agregata na prostoriju u kojoj je smešten agregat, smanjuje se pravilnim dimenzionisanjem temelja agregata, temelja zgrade i ugradnjom amortizera [1].

## **8. ODRŽAVANJE DIZEL AGREGATA**

Pravilno održavanje bilo kog tehničkog sistema preduslov je za pouzdan i dugotrajan rad. Pri eksploataciji dizel električnog agregata potrebno je:

- održavanje temperature, vlažnosti i ventilacije prostorije u kojoj je instaliran agregat,
- pravilna montaža i poštovanje preporuka proizvođača,
- periodična provera mehaničkih i električnih elemenata,
- sprovođenje neophodnih merenja,
- test funkcionalnosti pod naponom,
- sprovođenje mera bezbednosti,
- obuka operatera, priprema odgovarajuće dokumentacije,
- sprovođenje operativnog plana za efikasnu realizaciju tekućeg, preventivnog i investicionog održavanja radi smanjenja vremena zastoja i povećanja veka trajanja opreme,
- dokumentovanje preventivnih aktivnosti i prezentacija realnog stanja opreme,
- obuka sopstvenog kadra za održavanje [1, 2].

## **9. ZAKLJUČAK**

Dizel električni agregati su nezavisni izvori električne energije, koji služe za snabdevanje potrošača na mestima gde ne postoji električna mreža i u slučajevima gde postoji mreža, ali su česti prekidi ili postoji redukcija. Koriste se uglavnom kao rezervno napajanje industrijskih objekata i institucija, koje zahtevaju neprekidno napajanje električnom energijom. Novi modeli dizel agregata su potpuno automatizovani sistemi s relativno visokim stepenom korisnog dejstva. Agregati s pogonom na biodizel i gas osim visoke energetske efikasnosti i smanjenog nivoa buke ispunjavaju i uslove, koje zahtevaju striktni ekološki propisi.

## **LITERATURA**

- [1] Stankov, S., Glavni projekat električnih instalacija (elektro napajanje, spoljnje i unutrašnje osvetljenje, gromobran, uzemljenje, dizel agregat, energana, pretakališta, računarska instalacija, telefonska instalacija, PP instalacija, pogon za proizvodnju biodizela – elektro instalacije energetike i sistema automatskog upravljanja), u Fabrici FAM Kruševac, 2009.
- [2] Loehlein A. T., Maintenance is one key to diesel generator set reliability, Technical information from Cummins Power Generation, University of Minnesota, 2007.
- [3] Fabris O., Osnove inženjerske termodinamike, Dubrovnik, 1994.
- [4] [www.cumminspower.com](http://www.cumminspower.com)