



Visoka škola elektrotehike i računarstva
strukovnih studija- Beograd, 2015/2016
Specijalističke studije SNET

Monitoring i
Dijagnostika
Električnih
Mašina

MERENJE SNAGE ELEKTRIČNIH MAŠINA



Predmetni profesor: Dr Željko Despotović, dipl.el.inž

UVOD

- Za merenje snage električnih mašina se koriste razni merni instrumenti i merne metode, a koja će biti odabrana zavisi od nekoliko činilaca:
 - vrste struje (jednosmerna, naizmenična ili složenoperiodična)
 - frekventnog opsega (naročito bitno kod kod naizmeničnih kola)
 - nivoa snage i
 - vrste potrošača na kome se meri snaga
- U oblasti niskih frekvencija (do 400 Hz) za merenje snage koriste se
 - obični voltmetri i ampermetri
 - elektrodinamički vatmetri i
 - elektronski vatmetri (analogni i/ili digitalni)

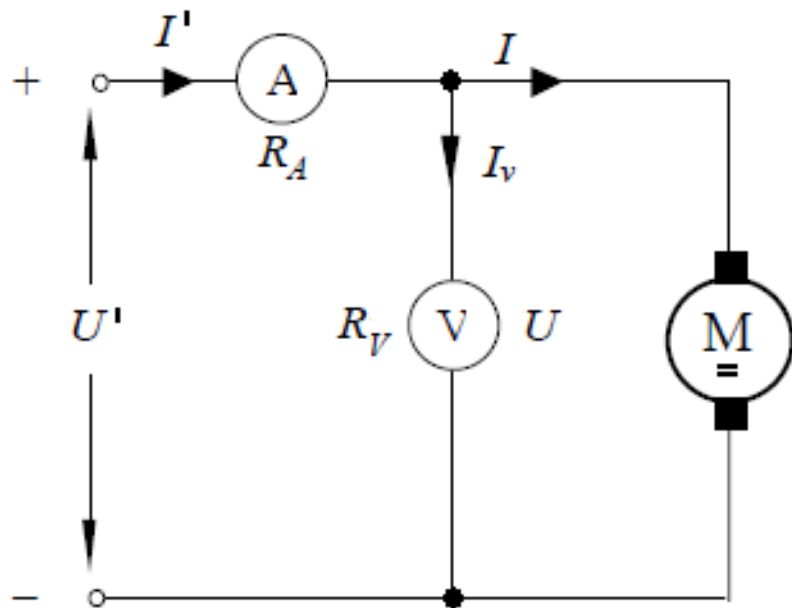
MERENJE SNAGE JEDNOSMERNE STRUJE

- Potreba za merenjem snage jednosmerne struje kod električnih mašina se javlja u sledećim slučajevima:
 - merenje utrošene snage motora sa jednosmernu struju
 - merenje korisne snage generatora jednosmerne struje
 - merenje snage potrošnje induktora mašina jednosmerne struje ili induktora sinhronne mašine
- Merenje se, po pravilu izvodi pomoću ampermetra i voltmetra za jednosmernu struju (koji u sebi imaju kretni kalem)

PODSEĆANJE!!!

- **Merenje jednosmernih veličina** (struja i napon) se ostvaruje sa mehaničkim instrumentima sa kretnim kalemom, čije je pokazivanje proporcionalno sa aritmetičkom srednjom vrednošću merene veličine
- Skala ovih instrumenata je linearna
- **Merenje naizmeničnih veličina** (struja, napon, snaga) se obično ostvaruje mehaničkim instrumentima sa mekim gvožđem, čije je pokazivanje proporcionalno sa efektivnom vrednošću merene veličine.
- Skala ovih instrumenata je nelinearna.
- **Instrumenti sa kretnim kalemom** imaju preko deset puta manju potrošnju i obično veću tačnost, u odnosu na instrumente sa mekim gvožđem.

MERENJE UTROŠENE SNAGE MAŠINA JEDNOSMERNE STRUJE



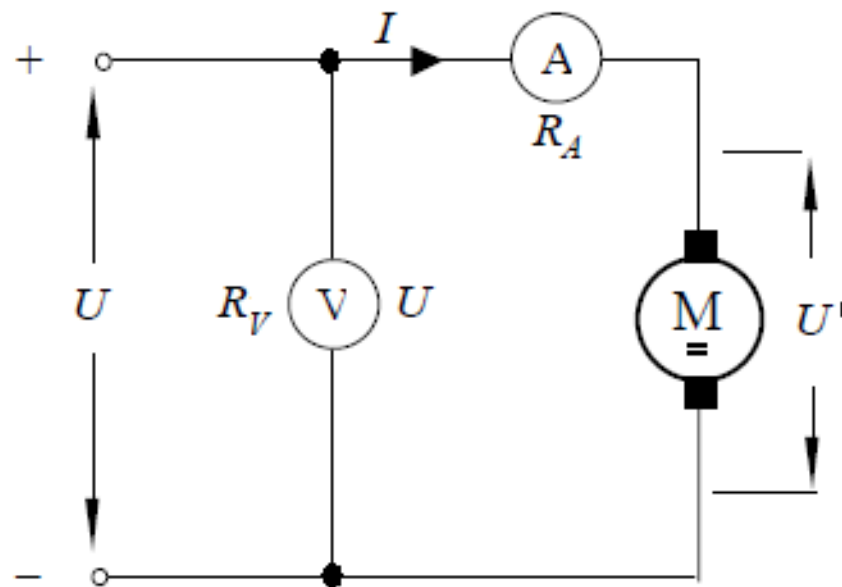
Izmerena vrednost: $U I'$

Stvarna vrednost: $U I$

Greška merenja: $\Delta P = U I' - U I$

$$\Delta P = \frac{U^2}{R_V}$$

R_V - unutrašnji otpor voltmetra



Izmerena vrednost: $U I$

Stvarna vrednost: $(U - R_A I) I$

Greška merenja: $\Delta P = U I - (U - R_A I) I$

$$\Delta P = R_A I^2$$

R_A - unutrašnji otpor ampermetra

PRIMER: DC voltmetar ISKRA BL0125

- **Voltmetar** za merenje jednosmernog napona ISKRA 6-600V, klase tačnosti $k=0.5$, sa kretnim kalemom ima unutrašnju otpornost $4\text{k}\Omega/\text{V}$
- Na opsegu 0-300V ovaj otpor iznosi:

$$R_v = 300 \times 4000 = 1.2\text{M}\Omega$$

- Ako je $U=220\text{VDC}$ i struja $I=6\text{A}$,
- Potrošnja na voltmetru je $U^2/R_v = 220^2/1200000 = 0.04\text{W}$



PRIMER: DC ampermetar ISKRA BL0125

- **Ampermetar** za merenje jednosmerne struje ISKRA 0.6mA-6A, klase tačnosti $k=0.5$, sa kretnim kalemom ima unutrašnju otpornost 100Ω
- Na opsegu 0-6A ovaj otpor iznosi:
 $R_A=10m\Omega$
- Ako je $U=220VDC$ i struje $I=6A$,
- Potrošnja na ampermetru
 $R_A I^2 = 10m\Omega \times 6^2 = 0.36W$



MERENJE SNAGE NAIZMENIČNE STRUJE

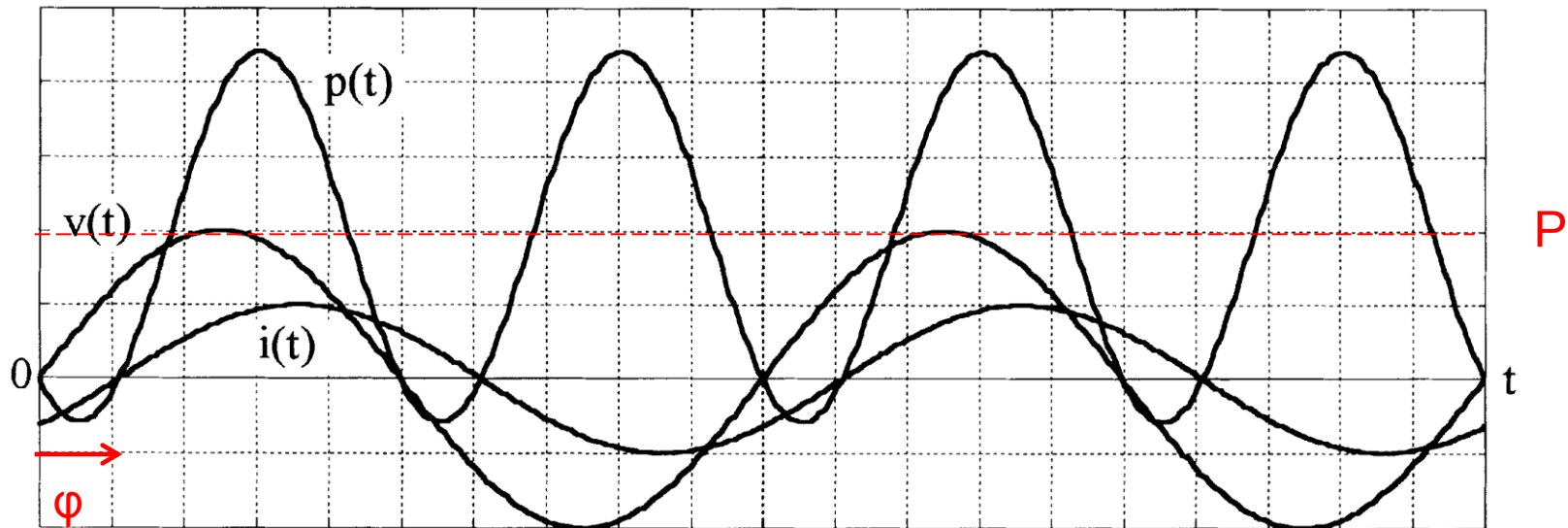
- Za merenje aktivne snage naizmenične struje se uglavnom koriste vatmetri
- Za laboratorijska merenja se koriste elektrodinamički vatmetri (klase 0,1; 0,2; 0,5), a za industrijska merenja indukcion vatmetri (klase 1; 1,5; 2,5 ; 5).
- Danas su u upotrebi najčešće koriste elektronski instrumenti (analogni ili digitalni).
- Klasa tačnosti mernog instrumenta definiše se kao procentualna granična relativna greška instrumenta:

$$K = \left| \pm \frac{\Delta x_{\max}}{x_g} \right| \cdot 100$$

$\Delta x_{\max}$ – maksimalna apsolutna greška

x_g - granična (maksimalna) vrednost mernog opsega instrumenta

DEFINICIJA AKTIVNE SNAGE



$$p(t) = v(t) \times i(t)$$

trenutna snaga

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt$$

AKTIVNA SNAGA

$$P = V_{\text{REQ}} I_L = V_L I_L \cos \varphi$$

$$p(t) = VI[1 - \cos(2\omega t)]$$

trenutna snaga za čisto omsko opterećenje

$P = VI$ aktivna snaga za čisto omsko opterećenje

$$p(t) = VI \cos(2\omega t)$$

trenutna snaga za čisto induktivno opterećenje

$P = 0$ aktivna snaga za čisto induktivno opterećenje

KONAČNE JEDNAČINE U PROSTOPERIODIČNOM REŽIMU

$$P = V_{\text{REQ}} I_L = V_L I_L \cos \varphi$$

aktivna snaga

$$Q = V_{\text{XEQ}} I_L = V_L I_L \sin \varphi$$

reaktivna snaga

$$P_A = V_L I_L$$

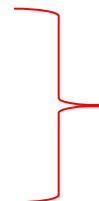
prividna snaga

$$P_A = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

KAKO SE MERE AKTIVNA I REAKTIVNA SNAGA?

WATMETROM – aktivna snaga

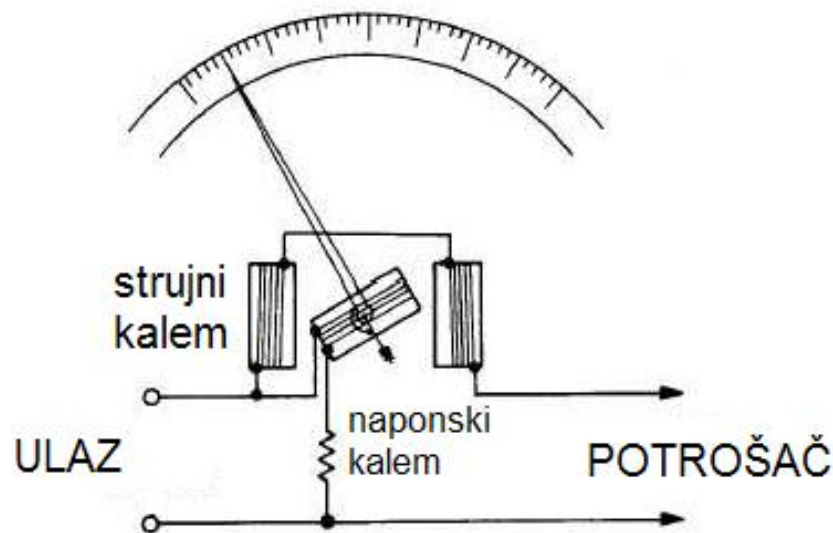
VARMETROM – reaktivna snaga



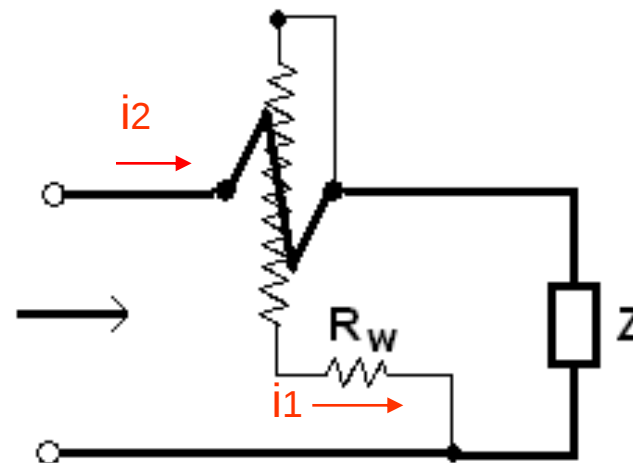
1. Elektrodinamički princip
2. Indukcioni princip
3. Elektronika (analogna ili digitalna)

ELEKTRODINAMIČKI VATMETAR

- Elektrodinamički vatmetar ima dva kalema, od kojih je prvi pokretan i napaja se sa strujom i_1 koja je srazmerna naponu U , dok je drugi nepokretan i napaja se sa strujom i_2 koja je ustvari struja opterećenja I .



konstrukcija



ekvivalentna šema

Između strujnog i naponskog kalema postoji međusobna induktivnost L_{12} , i na osnovu nje se dobija obrtni momenat:

$$M = i_1 \cdot i_2 \cdot \frac{dL_{12}}{d\theta}$$

$$L_{12} = L_m \cdot \cos \theta, \quad i_1 = kU \sqrt{2} \cdot \cos \omega t, \quad i_2 = I \sqrt{2} \cdot \cos(\omega t - \varphi)$$

$$\sin \theta = \text{const}$$

$$M = kUI \cos \varphi$$

Snaga vatmetra se računa iz konstante: $k_W = \frac{U_0 \cdot I_0}{\alpha_m}$

i skretanja α :

$$P_W = k_W \cdot \alpha$$

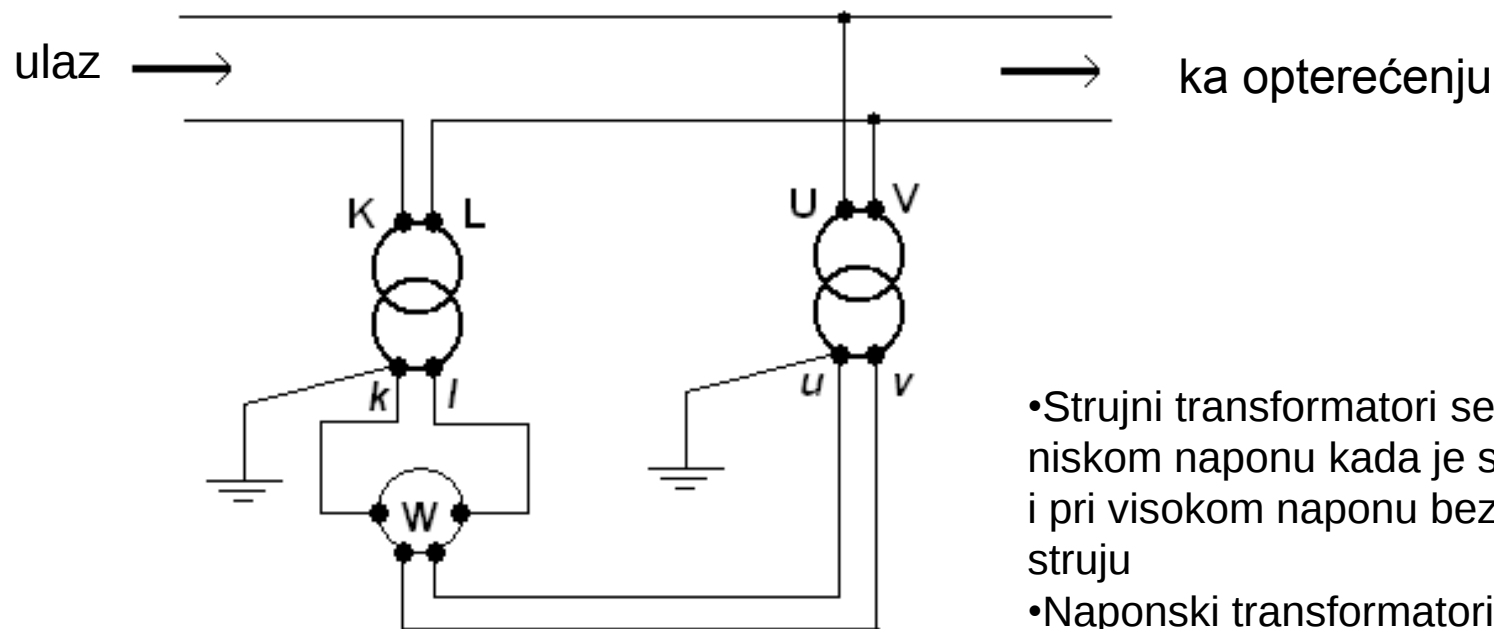
U_0 - izabrani naponski opseg

I_0 - izabrani strujni opseg

α_m – opseg skale

Ako se koriste merni transformatori (strujni i naponski) ukupna konstanta će iznositi:

$$k = k_W k_U k_I \quad k_U = \frac{U_1}{U_2}, \quad k_I = \frac{I_1}{I_2}$$



- Strujni transformatori se koriste na niskom naponu kada je struja $> 5A$ i pri visokom naponu bez obzira na struju
- Naponski transformatori se koriste kada je prijemnik na visokom naponu odnosno kada je njegov napon viši od naponskog opsega vatmetra

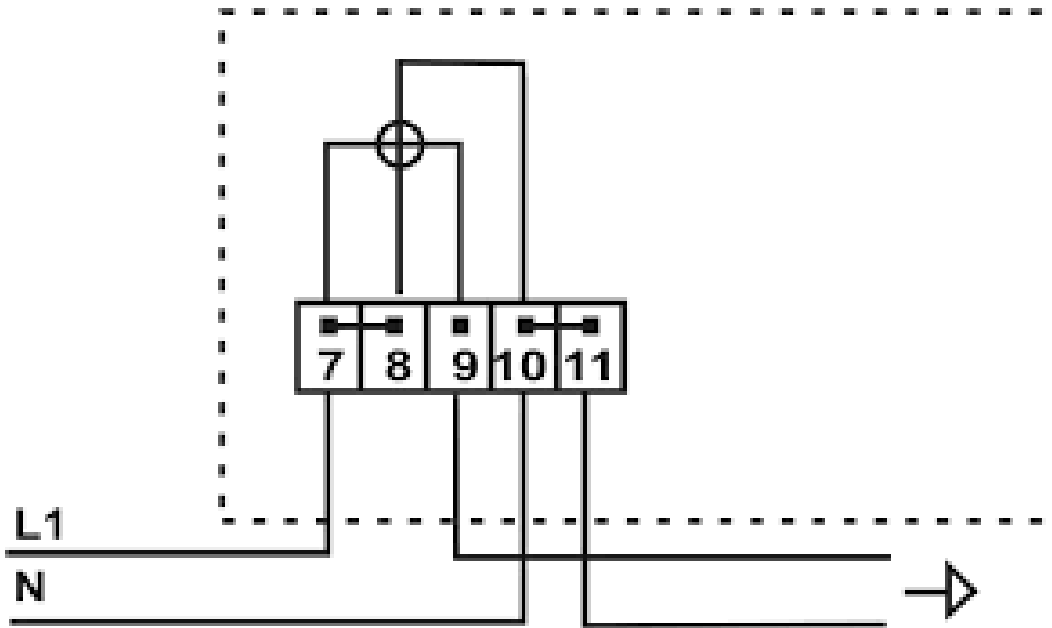
PROPUSNI OPSEG ELEKTRODINAMIČKIH VATMETARA

- Elektrodinamički vatmetri se koriste na nižim frekvencijama (obično do najviše 1kHz) .
- Na višim frekvencijama poteškoće izaziva induktivnost naponskog kabela i međuinaktivnost kalemova (bez gvožđa)
- Kod instrumenata sa gvožđem, pri višim učestanostima se indukuju vrtložne struje u lameliranom gvožđu
- Granična frekvencija se može povećati korišćenjem feritnih jezgara i jarma.

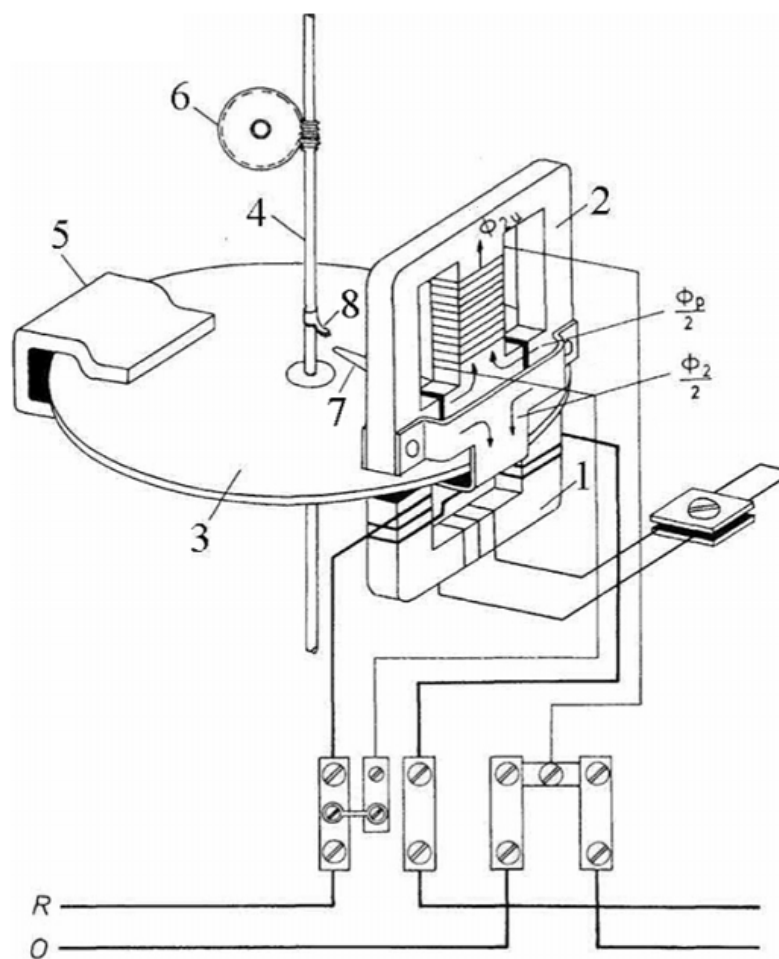


INDUKCIONI VATMETAR

- Indukcioni vatmetar se vezuje kao i jednofazno brojilo električne energije
- Koristi se obično u fakultetskim u laboratorijama, obzirom da je otporan na preopterećenja (i do 200%)



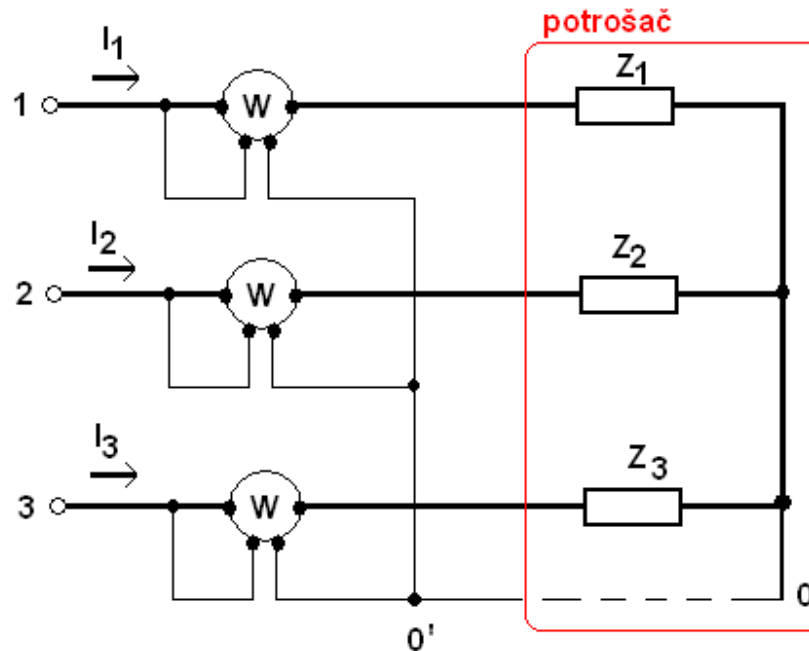
- Namotaj elektromagneta (1) ima mali broj navojaka debele žice, vezuje se redno sa potrošačem (kao ampermetar) i kroz njega protiče struja potrošača I (naziva se strujni namotaj)
- Namotaj elektromagneta (2) ima veliki broj navojaka tanke žice, priključuje se paralelno na napon potrošača U (kao voltmetar, naziva se naponski namotaj)
- Magnetni fluksevi elektromagneta deluju na aluminijumski disk (3), koji se može obrtati oko osovine (4) između polova stalnog magneta (5) i u međugvožđu elektromagneta (1 i 2) i čiji broj obrtaja, preko pužnog prenosioca (6) i sistema zupčanika, registruje brojčanik



TROFAZNO MERENJE AKTIVNE SNAGE

- Ako je opterećenje simetrično(laboratorijski uslovi pri ispitivanju trofaznih mašina) dovoljan je jedan vatmetar, priključen na fazni napon pri čemu se mora koristiti zvezdište prijemnika ili izvora
- Ako je opterećenje nesimetrično koriste se metode sa tri vatmetra ili metoda sa dva vatmetra (Aronova sprega)
- Prethodne dve metode se mogu koristiti i u sistemima bez nultog voda

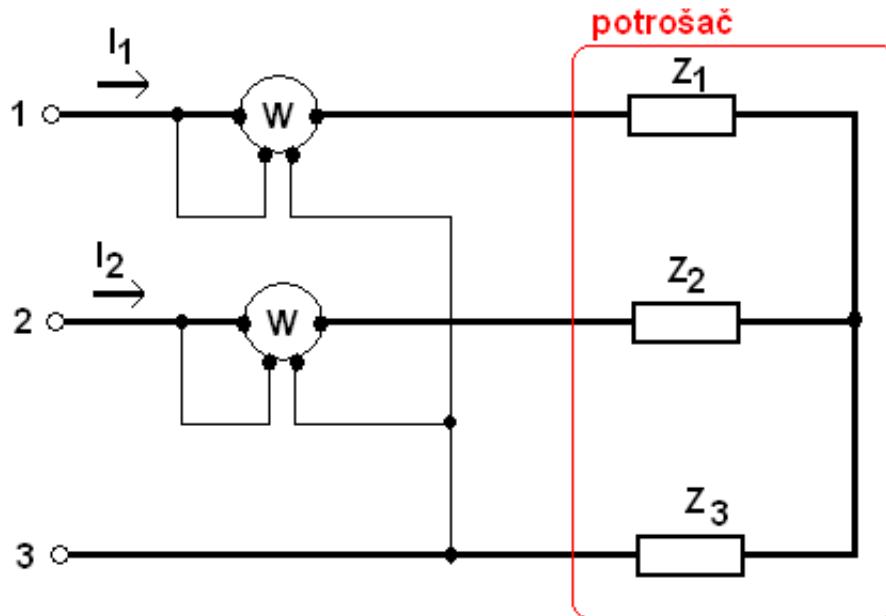
METODA TRI VATMETRA



$$P = U_{10}I_1 \cos \varphi_1 + U_{20}I_2 \cos \varphi_2 + U_{30}I_3 \cos \varphi_3 = P_1 + P_2 + P_3$$

- Kod trofaznog sistema sa tri provodnika, pomoću tri vatmetra dobija se ukupna snaga sistema, kada se sva tri pokazivanja aritmetički saberu
- Pojedinačna pokazivanja ne predstavljaju snage koje se troše u pojedinim fazama

ARONOVA SPREGA



- Kada se meri snaga trofaznog sistema sa tri provodnika pomoću dva vatmetra, ukupna snaga sistema se dobija iz zbira ili razlike njihovih pokazivanja, dakle algebarskim sabiranjem.
- I kod ove metode pojedinačna pokazivanja ne predstavljaju snage u pojedinim fazama

$$P = U_{13} I_1 \cos \psi_1 + U_{23} I_2 \cos \psi_2$$

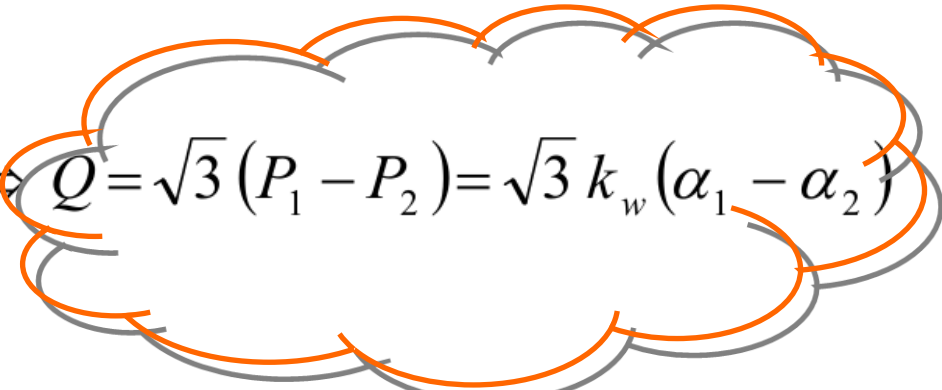
ψ_1 - fazna razlika između U_{13} i I_1

ψ_2 - fazna razlika između U_{23} i I_2

MERENJE REAKTIVNE SNAGE

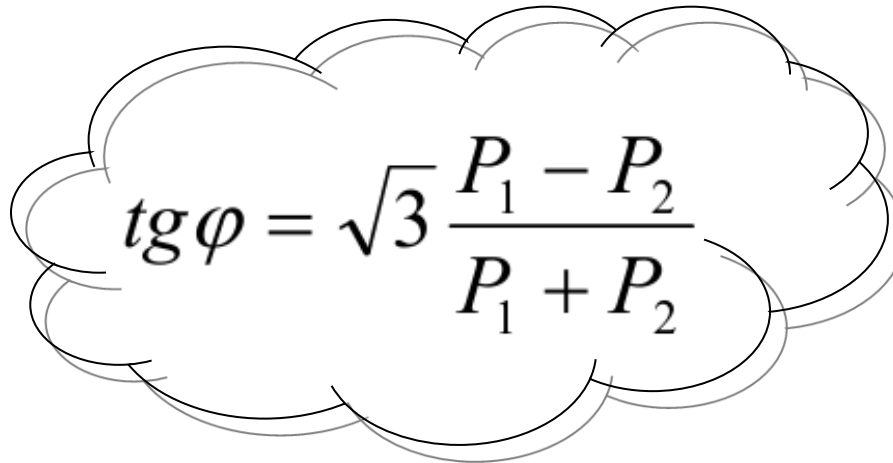
- Upotrebom Aronove sprege može se meriti i reaktivna snaga u slučaju trofaznog simetrično opterećenog sistema
- Potrebno je izračunati umesto zbira, razliku snaga P_1 i P_2

$$P_1 - P_2 = \sqrt{3} UI [\cos(\varphi - 30^\circ) - \cos(\varphi + 30^\circ)] = \sqrt{3} UI \sin \varphi$$

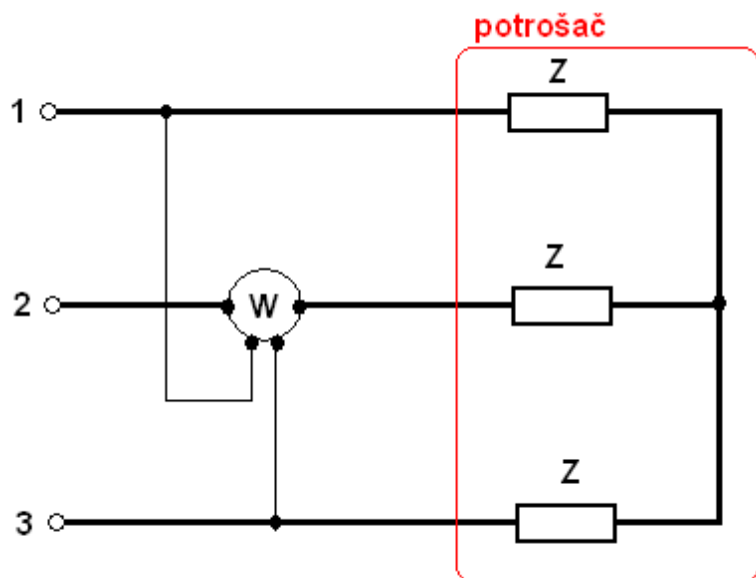
$$\frac{Q}{\sqrt{3}} = \sqrt{3} UI \sin \varphi = P_1 - P_2 \Rightarrow Q = \sqrt{3} (P_1 - P_2) = \sqrt{3} k_w (\alpha_1 - \alpha_2)$$


- U simetričnim trofaznim sistemima primenom Aronove sprege može se, posredno preko tangensa ugla ϕ , odrediti i sačinilac snage:

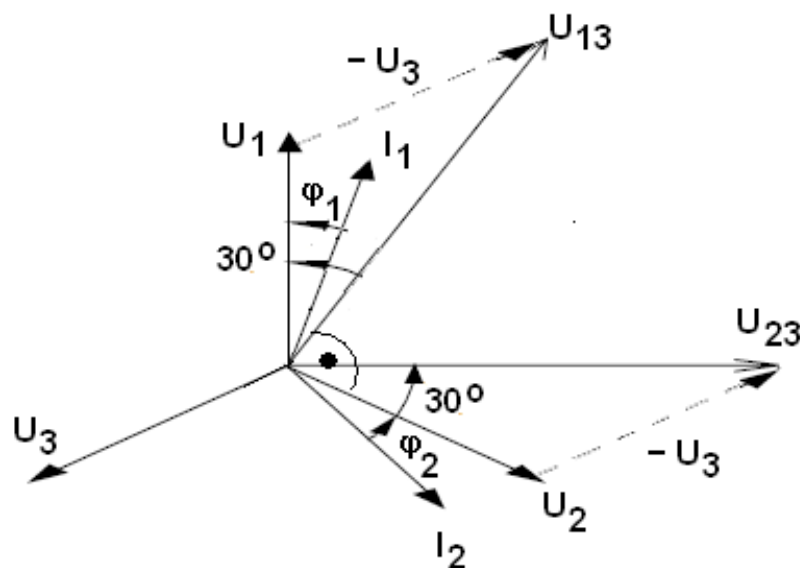
$$\frac{P_1 - P_2}{P_1 + P_2} = \frac{\sqrt{3}UI \sin \varphi}{3UI \cos \varphi} = \frac{1}{\sqrt{3}} \operatorname{tg} \varphi$$


$$\operatorname{tg} \varphi = \sqrt{3} \frac{P_1 - P_2}{P_1 + P_2}$$

MERENJE REAKTIVNE SNAGE TROFAZNOG SIMETRIČNOG OPTEREĆENJA METODOM JEDNOG VATMETRA



Električna šema



Fazorski dijagram

$$U_{13} I_2 \cos[90^\circ + \varphi_2] = \sqrt{3} U I \sin \varphi = Q / \sqrt{3}$$

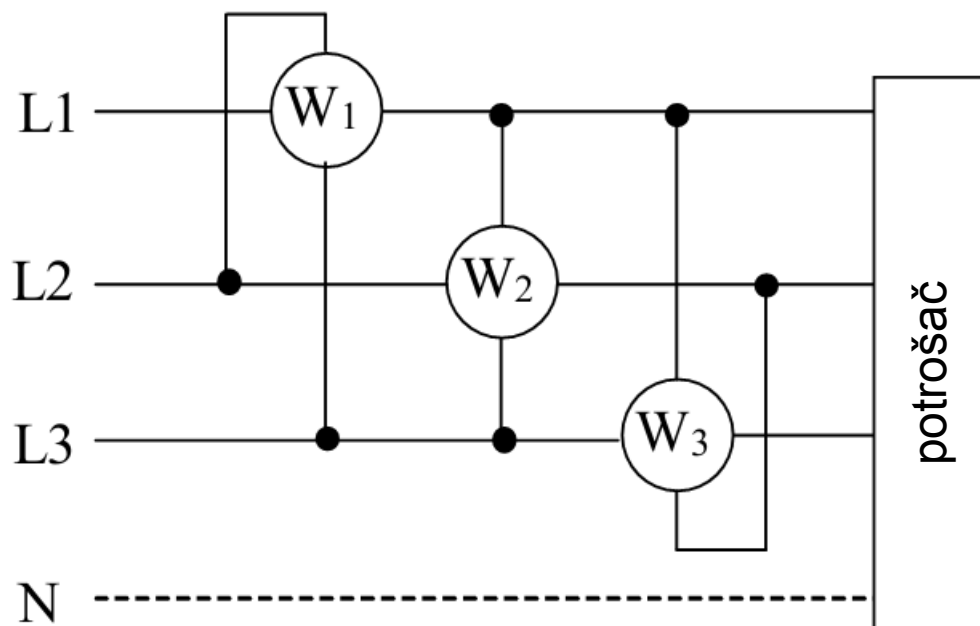
$$U_1 = U_2 = U_3 = U$$

$$I_1 = I_2 = I_3 = I$$

$$\varphi_2 = \varphi$$

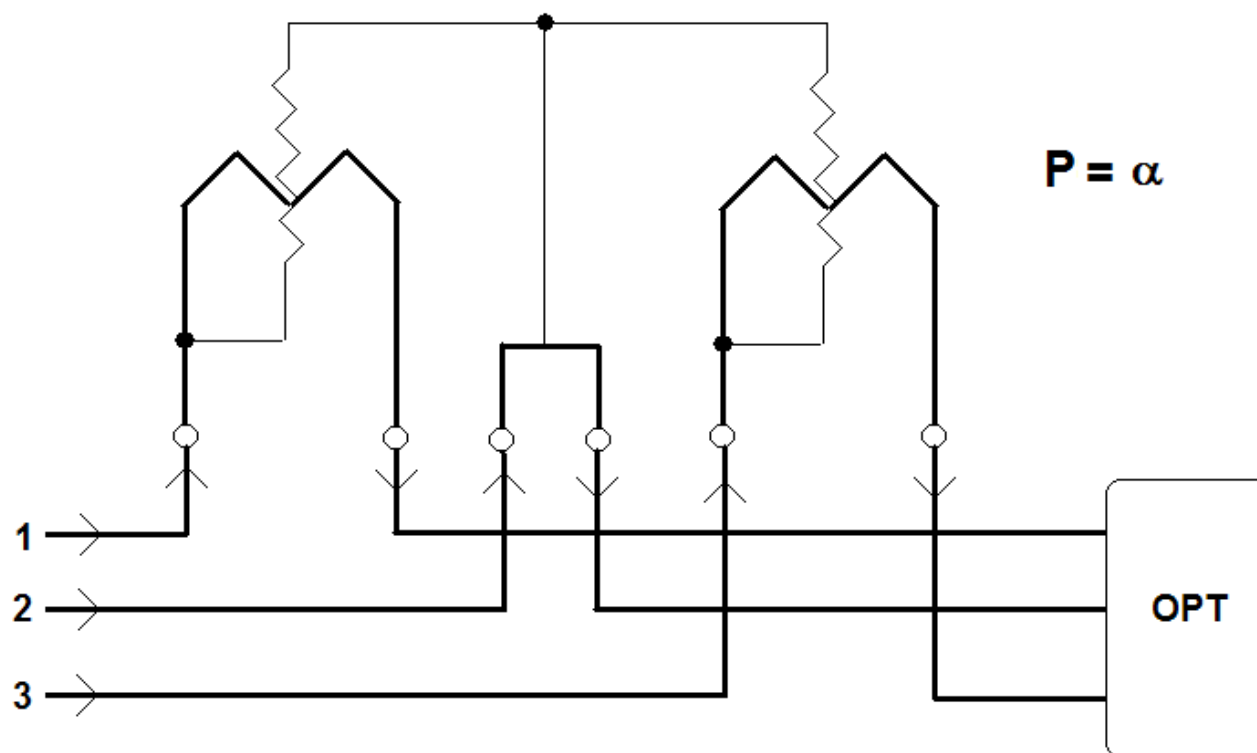
Isti rezultat se dobija kao i kod merenja sa dva vatmetra (Aronova sprega)!!!

MERENJE REAKTIVNE SNAGE METODOM TRI VATMETRA



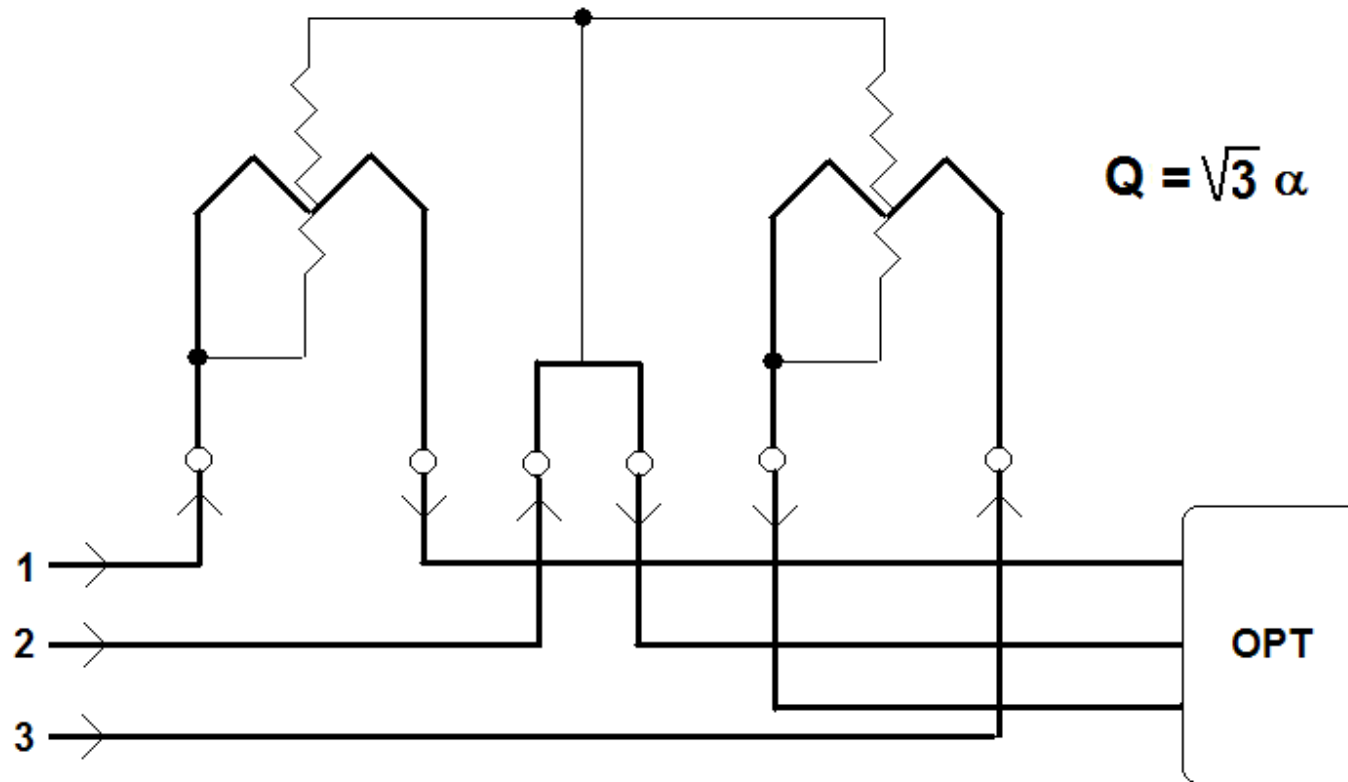
$$Q = \frac{1}{\sqrt{3}} (W_1 + W_2 + W_3)$$

Priključivanje trofaznog vatmetra (indukcionog tipa) za merenje aktivne snage



Ako se želi meriti reaktivna snaga onda se promeni smer struje u strujnom ili naponskom kolu, jednog od dva sistema vatmetara

Priključivanje trofaznog vatmetra (indukcionog tipa) za merenje reaktivne snage



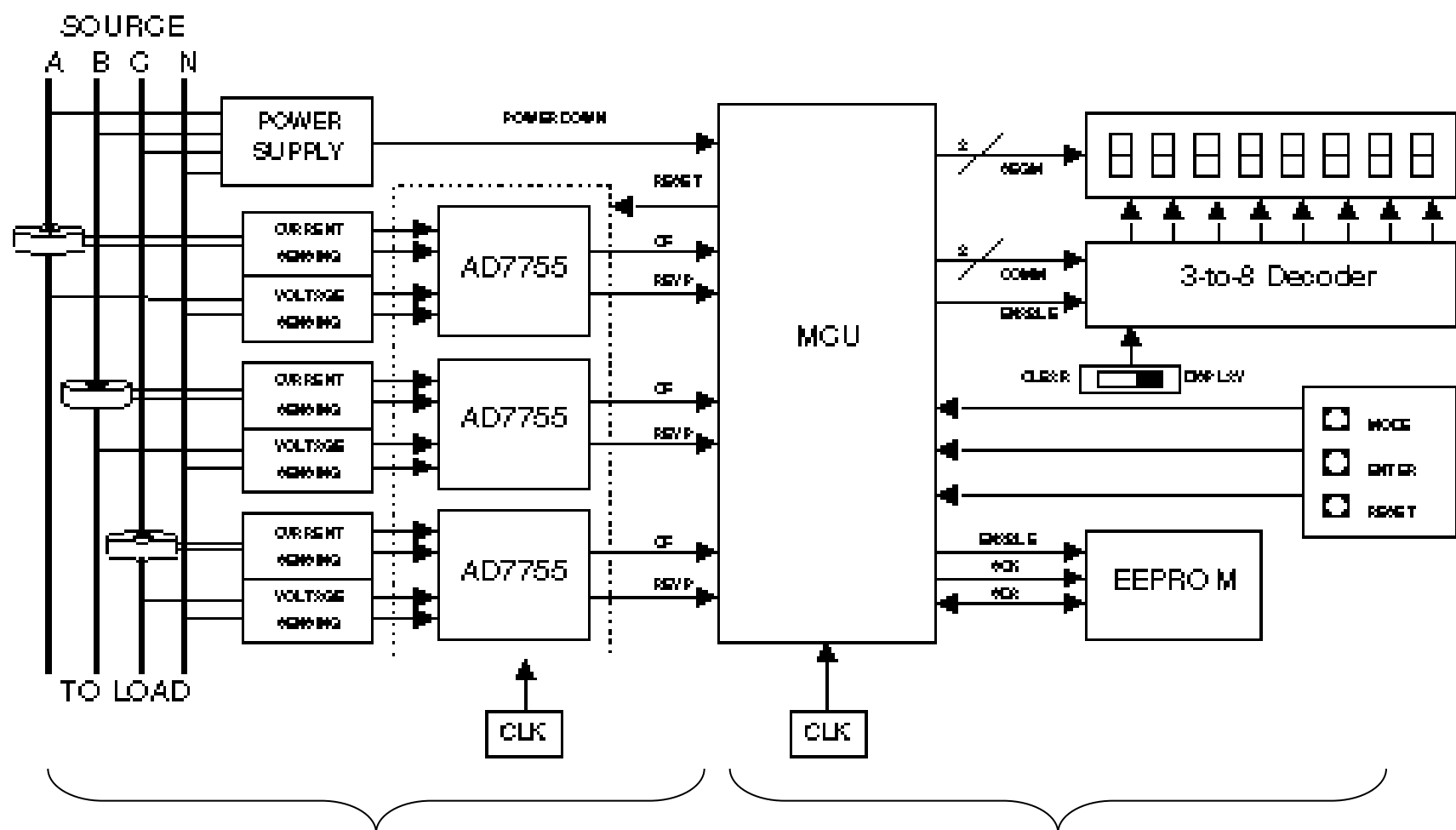
Promenjen smer struje u strujnom kolu u fazi 3, povezivanje faze 1 i 2 je ostalo nepromenjeno

ELEKTRONSKI VATMETRI

- Danas se često koriste za merenje snaga kod većih potrošača, naročito na višim naponskim nivoima
- Obično imaju manju grešku u odnosu na mehaničke vatmetre (granica greške $< 0,1\%$)
- Imaju znatno manju sopstvenu potrošnju od indukcionih merača, manju zavisnost pokazivanja od promene napona i frekvencije i potpuno su neosetljivi na položaj pri ugradnji
- Sve više se primenjuju i u niskonaponskim mrežama i pri merenjima snaga kod niskonaponskih motora
- Prvi elektronski vatmetri su bili analogni i predstavljali su funkcionalni ekvivalent indukcionih vatmetara



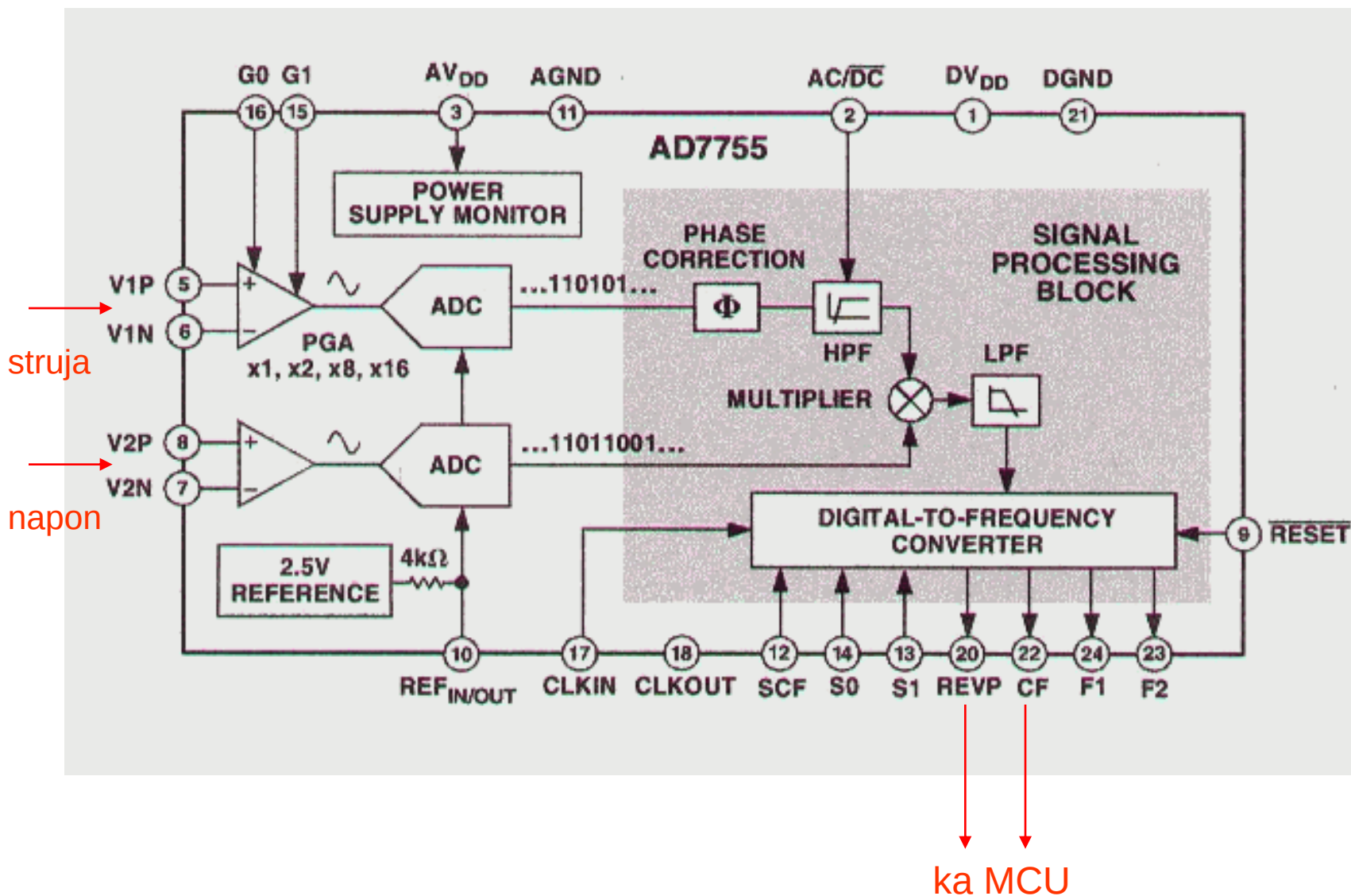
Funkcionalni blok dijagram trofaznog digitalnog sistema za merenje snage



Analogni deo baziran na
Analogno/digitalnom množaču AD7755

Digitalni deo baziran na
mikrokontrolerskom uređaju (MCU)

A/D MNOŽAČ AD7755- Analog Devices



DIGITALNI MULTIFUNKCIJSKI UREĐAJ ECM 700- E POWER



- ECM700 (proizvođača E POWER) je trofazni multifunkcijski merač snage koji se koristi do naponskog nivoa 220kV, 50Hz.
- To je jedan veoma kompaktan uređaj koji je dimenzionisan za monitoring i prikaz električnih parametara kao što su: napon, struja, aktivna snaga, reaktivna snaga, faktor snage, frekvencija, aktivna i reaktivna energija.
- Ovaj uređaj je konfigurabilan i omogućuje korisniku da dodaje proširenja koja se tiču digitalnih ulaznih i izlaznih modula.
- Pomoćne funkcije koje su dostupne su: SOE, TOU, harmonijska analiza, dualni RS485 port) i one se mogu primeniti u različitim aplikacijama.

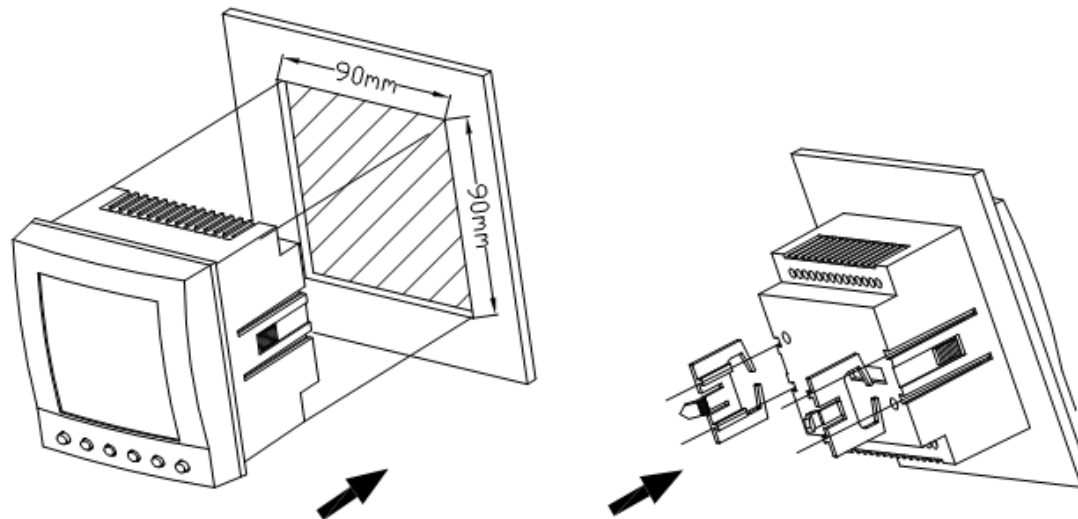
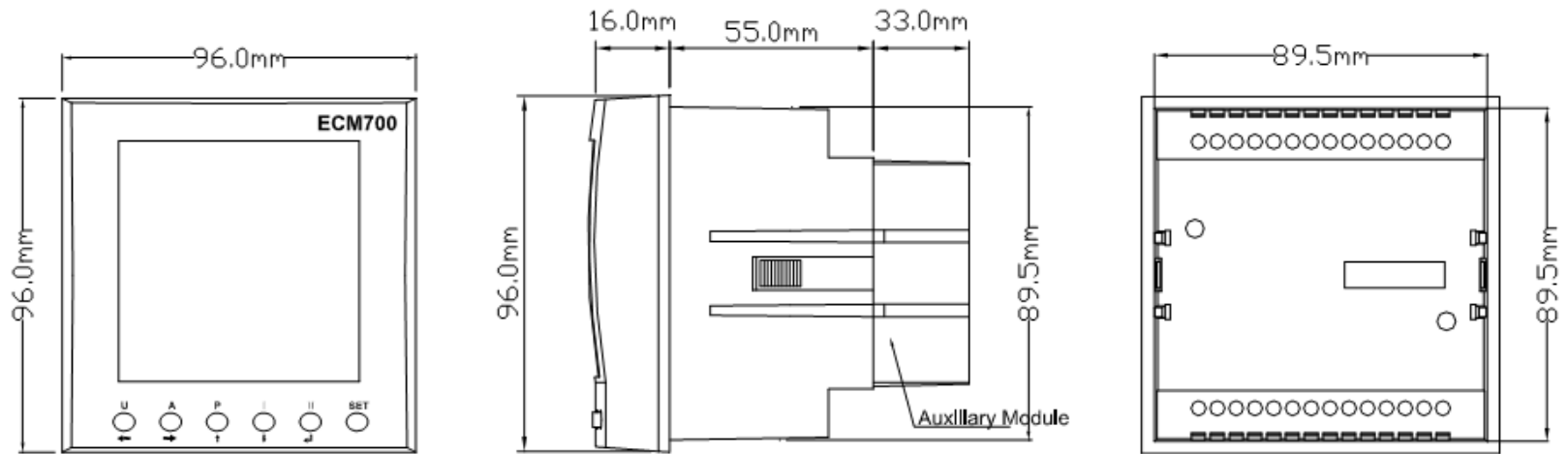
OSNOVNE KARAKTERISTIKE

- Relativno veliki STN LCD ekran sa visokim osvetljajem
- Kompaktan dizajn sa „real-time“ merenjima
- Opcioni DO/DI moduli.
- Dodatne funkcije SOE, TOU, analiza harmonika (do 31 reda)
- Eksterno dodavanje mernih strujnih transformatora
- Programabilni setpoint
- RS485 komunikacija/ MODBUS protokol

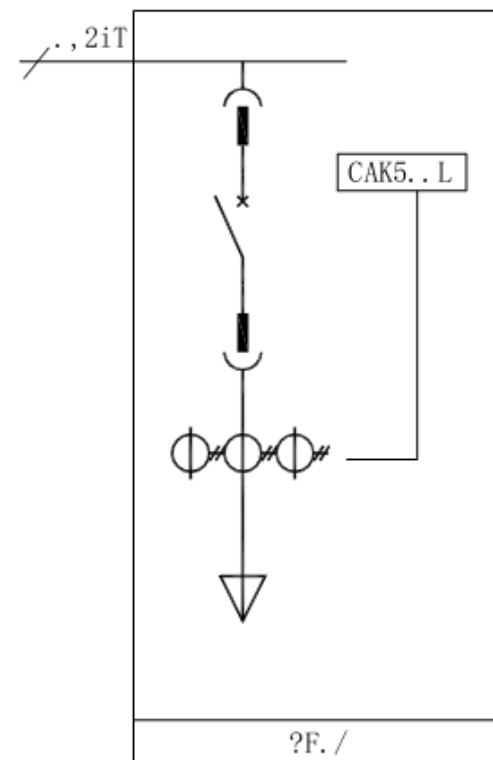
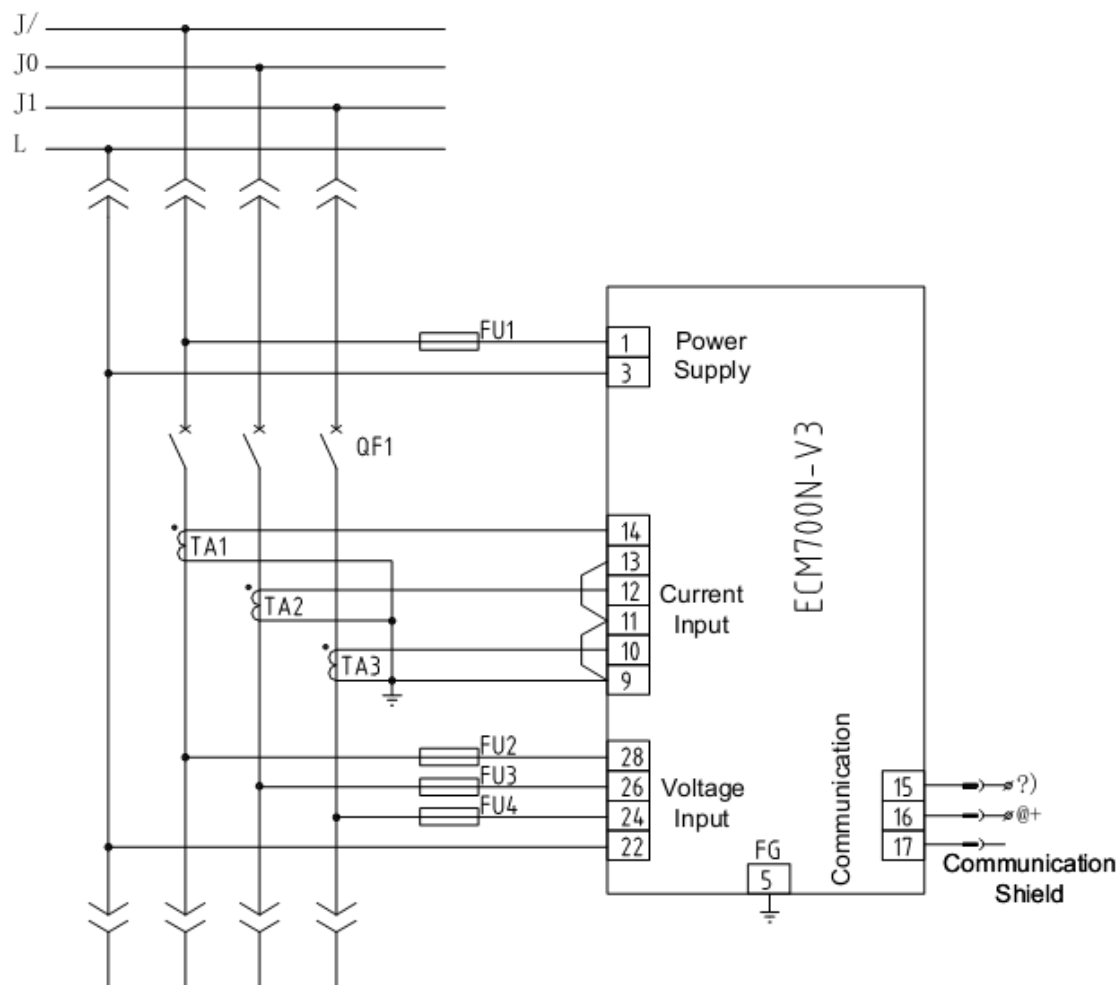
TEHNIČKI PODACI

- Standardi: DLT721-2000, IEC61000-4
- Tačnost: Napon: 0.2%, Struja: 0.2%, Snaga : 0.5%
- Aktivna energija: tačnost - class 1
- Potrošnja: 3VA
- Izolaciona otpornost 50Meg
- Podnosivi impulsni napon: 5kV (peak), 1.2/50uS
- Ulazni merni opsezi: Struja: AC 0~5A, Napon: 0~220VAC, Učestanost: 50/ 60Hz
- Podnosivo preopterećenje : 120% od nominalne struje ili napona
- Relejni izlazi: do 4 , 220VAC/5A, ili 30VDC/5A
- Harmonijska analiza: 31 harmonik za napon i struju
- Komunikacija: RS485 port/ MODBUS protokol
- Baud rate: 2400/ 4800/ 9600/ 19200bps
- Adrese: 1~ 247
- Električni transient/burst imuni test: IEC61000-4-4, Level 4
- Surge immunity test: IEC61000-4-5, Level-3
- ESD immunity test: IEC61000-4-2, Level 4
- Radna temperatura : -20~ +70°C
- Temperatura skladištenja: -40~+85 °C
- Vlažnost : 5~95%, bez kondenzacije

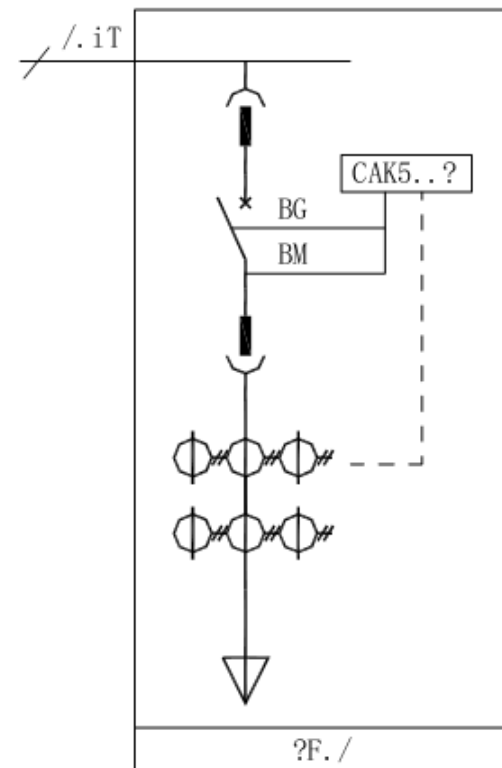
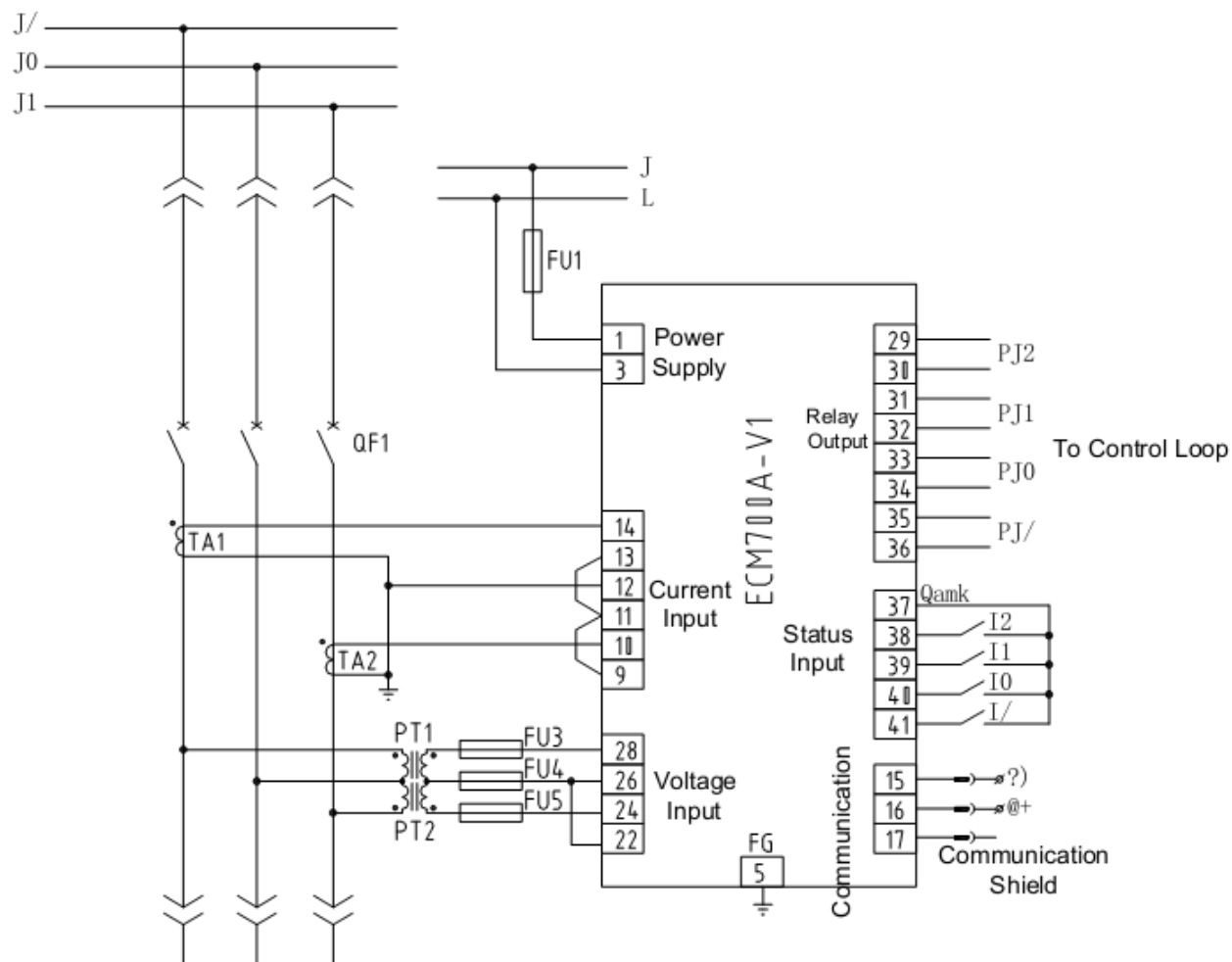
NAČIN UGRADNJE



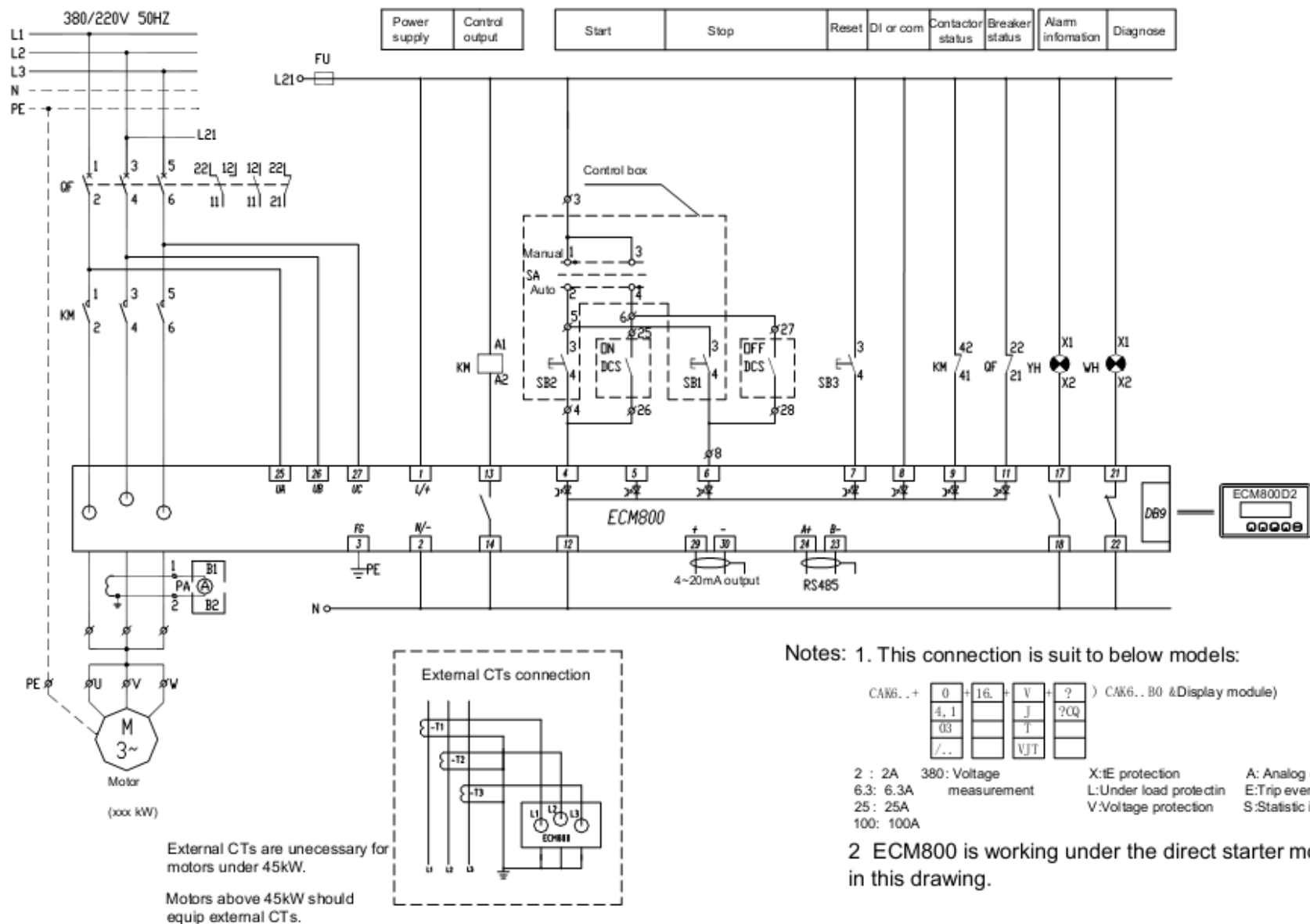
ECM700N-V3 niskonaponsko 3-fazno, 4-žično priključenje



ECM700A-V1 visokonaponsko 3-fazno 3-žično priključenje



INTELIGENTNA MOTORNA ZAŠTITA ECM 800-E Power

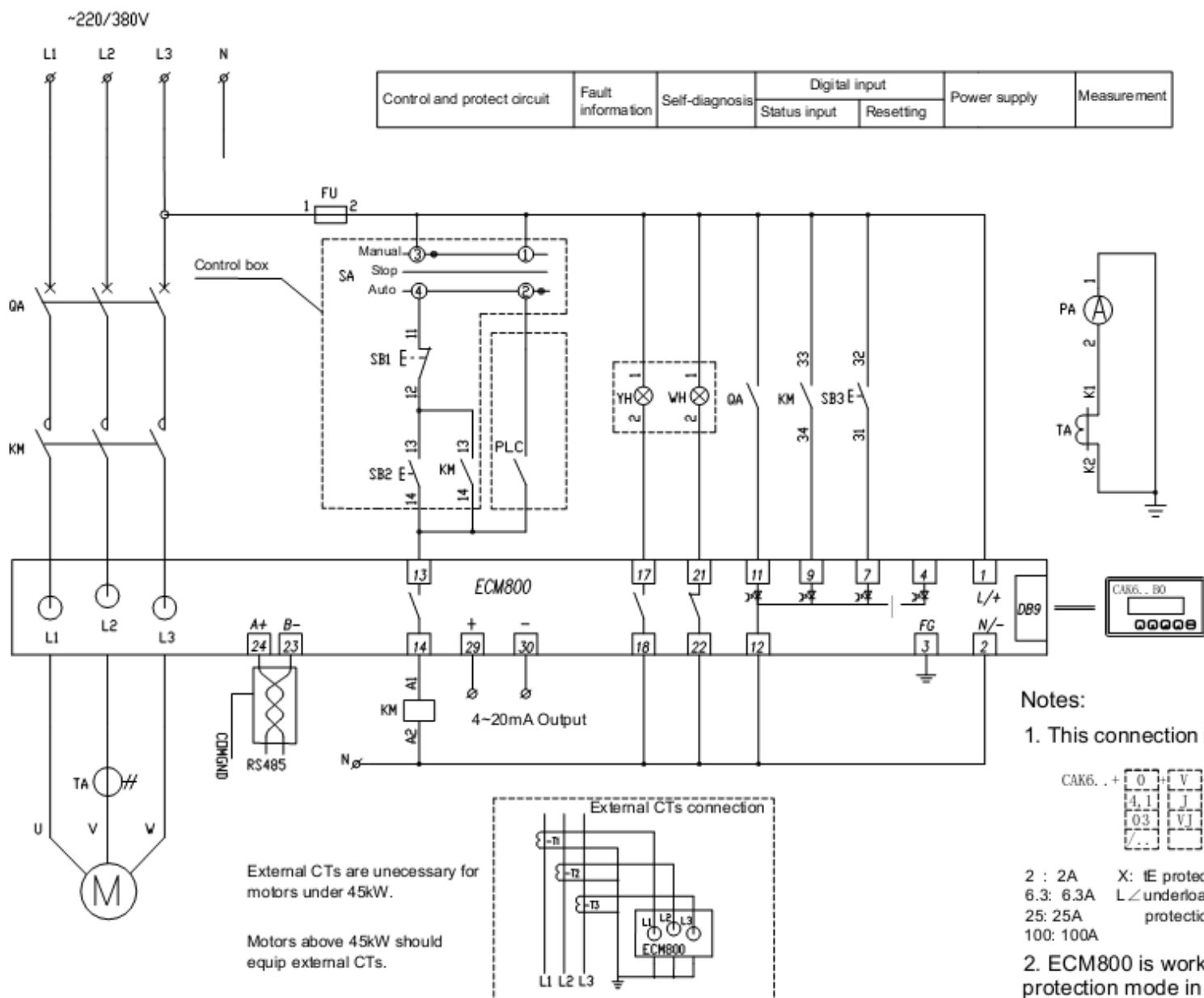


Notes: 1. This connection is suit to below models:

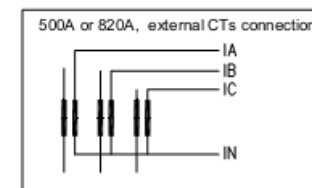
CAK6.. +	0	16	V	?
4.1			J	?CQ
03			T	
/..			VJT	

2 : 2A 380: Voltage measurement X:tE protection A: Analog output
6.3: 6.3A L:Under load protectin E:Trip evens
25: 25A V:Voltage protection S:Statistic info
100: 100A

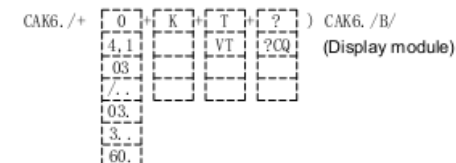
2 ECM800 is working under the direct starter mode in this drawing.



INTELIGENTNA MOTORNA ZAŠTITA ECM 801-E Power

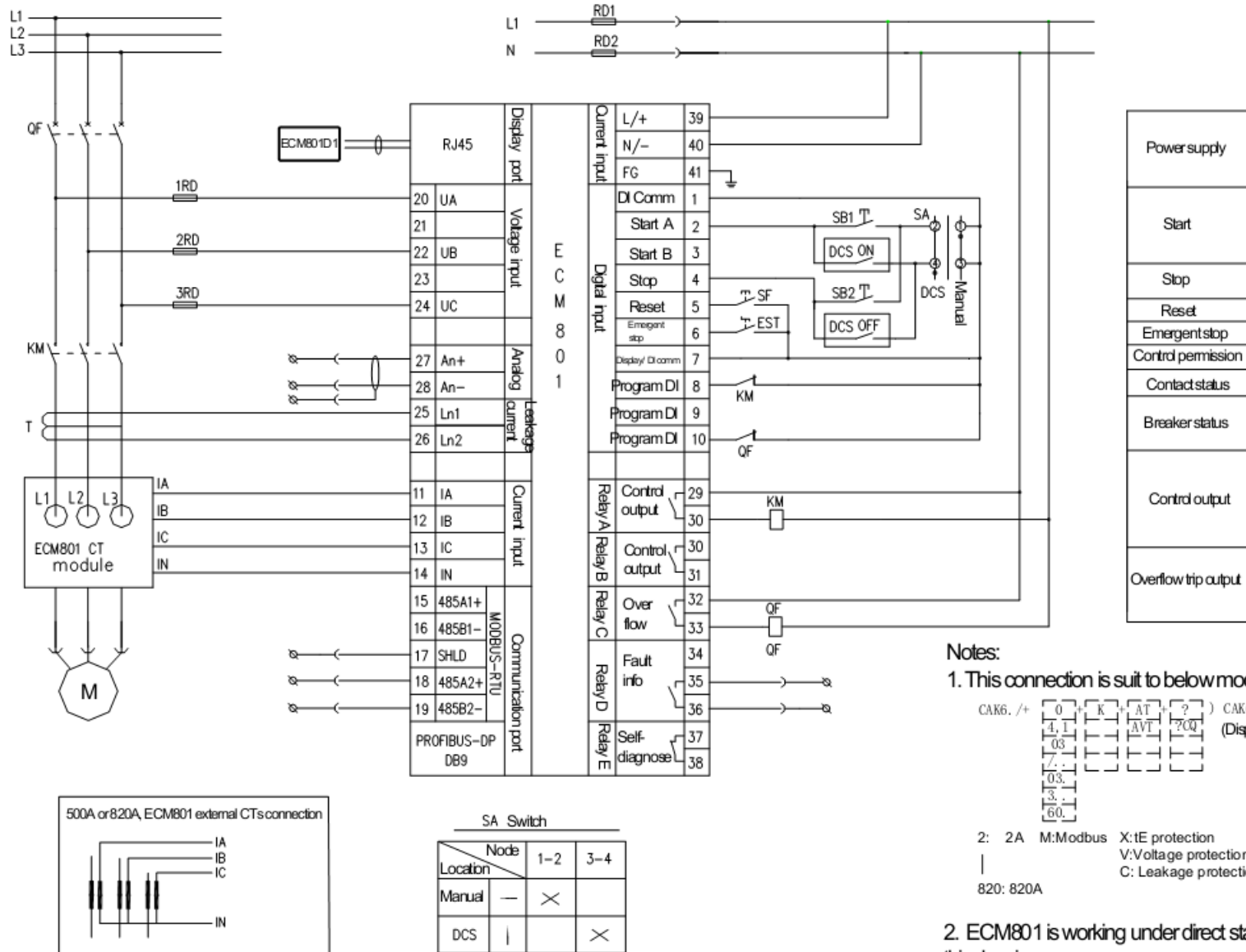


1. This connection is suit to below models:



820: 820A

2. ECM801 is working under protection mode in this drawing.



500A or 820A, ECM801 external CTs connection



SA Switch

Node	Location	
	1-2	3-4
Manual	—	×
DCS		×

LITERATURA

- Miloš Petrović, *Ispitivanje električnih mašina*, Naučna knjiga, Beograd 1988.
- *Merenje snage, faktora snage i energije-RGF*,
<http://www.rgf.bg.ac.rs/predmet/RO/III%20semestar/Elektrotehnika%20u%20rudarstvu/Predavanja/13%20Merenje%20snage,%20faktora%20snage%20i%20energije.pdf>.
- Multifunction Power Meters, ECM700 Series E-Power Technology Ltd,
www.e-powertech.ca
- Intelligent Motor Protection and Control Devices ECM800 Series-Data sheet, E-Power Technology Ltd, www.e-powertech.ca
- *Data sheet of IC multiplier AD7755*- Analog Devices Inc.

Hvala na pažnji!!!

PITANJA????



Beograd, Novembar 2015