



Електротехнички факултет
Енергетски одсек
Катедра за енергетске претвараче и погоне

ИСПИТИВАЊЕ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИНА

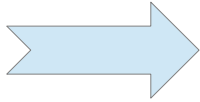
2. Мерење електричних величина

Предавач:
доц. др Младен Терзић



Шта ћемо обрадити?

2.1



Мерни трансформатори

2.2



Мерење снаге DC

Мерење активне снаге AC

Мерење реактивне снаге AC

Сачинилац снаге

2.3



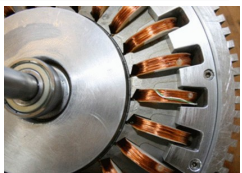
Мерење отпора намота

Мерење отпора изолације

2.4



Рачун грешака



2.1 Мерни трансформатори

▶ Основна улога је да смање мерене напоне и струје на вредности које су прикладне за мерење стандардним инструментима

▶ Остале предности су:

Стандардизовани напони и струје секундара

Галванско одвајање инструмената од високог напона

Удаљавање инструмената од места мерења

Заштита инструмената од утицаја КС

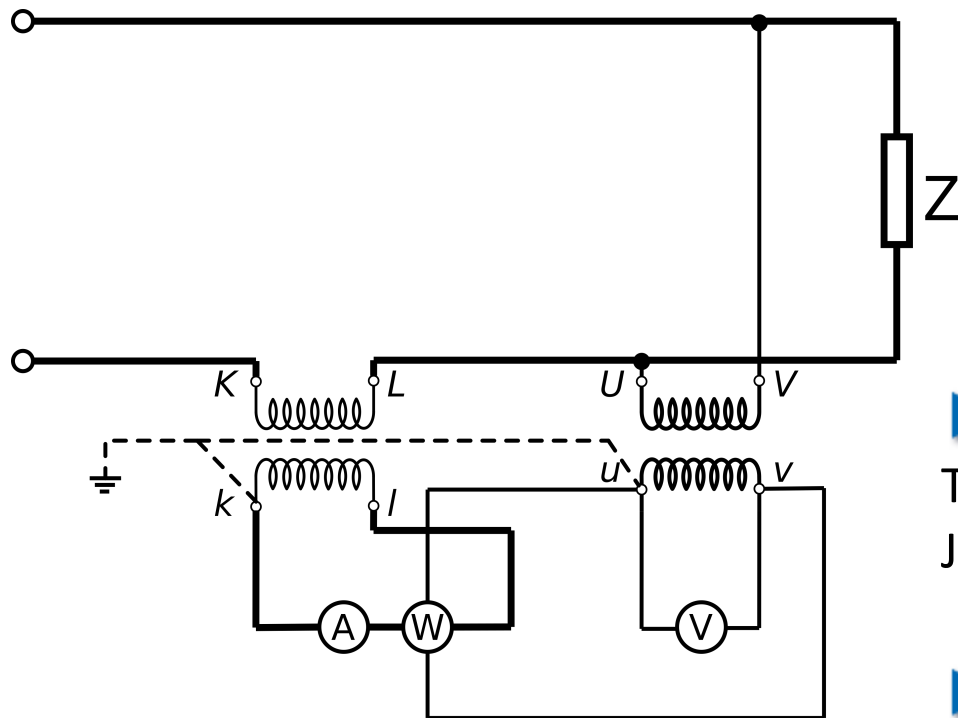
▶ Важно је да примарне величине трансформишу са што мањом амплитудском и фазном грешком

▶ Ове грешке треба да буду у прописаним границама за дату класу тачности

▶ Врсте: **напонски** и **струјни** (за мерење и заштиту)



Повезивање

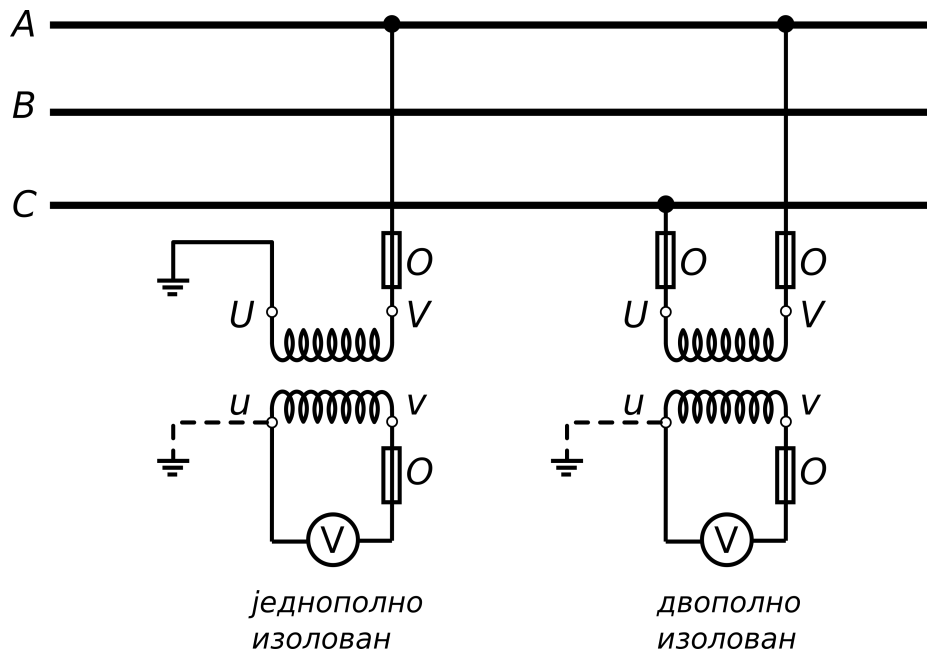


- ▶ Напонски-паралелно са оптерећењем. Треба да има што мањи пад напона. Једнополно и двополно изоловани.
- ▶ Струјни-на ред са оптерећењем. Треба да има што мању струју ПХ.
- ▶ По типу се разликује и конструкција



Напонски МТР

- ▶ **Улога** је да смањи велике примарне напоне и изолује секундарна кола од ВН.
- ▶ Израђују се само као монофазне јединице и могу бити **двополно** (само за напоне од 6 до 25kV) или **једнополно изоловани**.



- ▶ **Назначени примарни напон:**

2П из.: $U_{1n} = U_{n\text{mr}}$ (0.4, 10, 35kV...)

1П из.: $U_{1n} = U_{n\text{mr}} / \sqrt{3}$

Мерни: $(0.8 \text{ до } 1.2) U_{n\text{mr}}$

Заштитни: $(0.05 \text{ до } 1.9) U_{n\text{mr}}$

- ▶ **Назначени секундарни напон (IEC):**

2П из.: 100V, 110V, 200V

1П из.: $100/\sqrt{3}$ V, $110/\sqrt{3}$ V, $200/\sqrt{3}$ V

- ▶ Оптимални напони су од 10 до 170kV.



Напонски МТР-параметри

▶ Остали параметри дефинисани стандардом:

Највиши радни напон примара

Коефицијент трансформације U_{1n}/U_{2n}

Испитни 50Hz 1min напон

Номинални напонски фактор U_{1md}/U_{1n}

Испитни доведени напон

Номинална снага, максимална снага

Испитни ударни напон (1.2/50 μ s)

Испитни индуковани напон повишене фреквенције (за испитивање међузавојне изолације). Ради се са повишеном фреквенцијом да би се избегло засићење. Напон се доводи на секундар при отвореном примару који треба да достигне $5U_{1n}$.

Испитни напон секундара 2kV, 50Hz, 1min



Напонски МТР-грешке и класе

- ▶ Напонска грешка је грешка коју ТР уноси у мерење ефективне вредности напона:

$$G_n = \frac{m_n U_2 - U_1}{U_1} \cdot 100\% = \frac{U_2' - U_1}{U_1} \cdot 100\%$$

- ▶ Фазна грешка је фазни померај између вектора примарног и секундарног напона
- ▶ Класа тачности показује максималну грешку за дефинисане улове рада

мерни

Класа тачности	Напонска грешка $\pm g_n$ (%)	Фазна грешка $\pm \delta_n$ (min)
0,1	0,1	5
0,2	0,2	10
0,5	0,5	20
1,0	1,0	40
3,0	3,0	није утврђена

заштитни

Класа тачности	Напонска грешка $\pm g_n$ (%)	Фазна грешка $\pm \delta_n$ (min)
3P	3,0	120
6P	6,0	240

$$0,8 U_{1n} \leq U_1 \leq 1,2 U_{1n}, 0,25 Z_n \leq Z \leq Z_n, \cos\varphi = 0,8 \text{ind.}$$



Напонски МТР-примери



ТЕХНИЧКИ ПОДАЦИ	JNT-12	JNT-24	
Nazivni primarni napon (kV)	10/√3	20/√3	
Najviši napon opreme (eff.) (kV)	12	24	
Nazivni sekundarni napon (V)			100/√3
Nazivni napon tercijera (V)			100/3
Nazivni ispitni napon 50 Hz, 1 min (eff.) (kV)	28	50	
Nazivni ispitni napon 1,2/50ms (kV)	75	125	
Nazivna frekvencija (Hz)			50/60
			0,2/3P
Klasa tačnosti			0,5/3P*
			1/3P
Nazivna snaga (VA)	25	25	
	75*	75*	
	160	160	
Nazivni naponski faktor V ₁			1,9/Bh

ТЕХНИЧКИ ПОДАЦИ	DNT-12	DNT-24	DNT-24
Nazivni primarni napon (kV)	10	20	20
Najviši napon opreme (eff.) (kV)	12	24	24
Nazivni sekundarni napon (V)			100
Nazivni ispitni napon 50 Hz, 1 min (eff.) (kV)	28	50	
Nazivni ispitni napon 1,2/50ms (kV)	75	125	
Nazivna frekvencija (Hz)			50/60
			0,2/3P
Klasa tačnosti			0,5/3P*
			1/3P
Nazivna snaga (VA)	25	25	7
	75*	75*	1
	150	150	1
Nazivni faktor napona			1,2 trajno

ТЕХНИЧКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ:	
-Najviši napon opreme	36kV
-Naznačeni napon primara	25kV
-Naznačeni napon sekundara	403V
-Ispitni napon 50Hz, 1min	70kV
-Ispitni napon 1,2/50μs	170kV
-Naznačena frekvencija	50Hz
-Naznačena snaga	20(10)VA
-Klasa tačnosti	1(U,5)
-Granična snaga	600VA
-Važeći propisi	SRPS EN 60044-2

► Критеријуми за избор: $U_{1n}=U_{nmr}$, $S_n>S$, U_{2n} према потреби

Испитивање електричних машина
2. Мерење електричних величина (7/27)



Струјни МТР-параметри

▶ Остали параметри дефинисани стандардом:

Номинални напон примара

Ударна струја ($2.5 I_{1s}$)

Највиши радни напон примара

Номинална импеданса оптер. (Z_n)

Испитни 50Hz 1min напон

Номинална снага ($S_n = I_{2n} * Z_n$)

Испитни ударни напон (1.2/50 μ s)

Номинална сигурносна струја (I_{1sig} при којој је сложена грешка 10%)

Испитни напон секундара 2kV, 50Hz, 1min

Сигурносни фактор (прекострујни број) I_{1sig}/I_{1n}

Коефицијент трансформације I_{1n}/I_{2n}

Краткотрајна (I_{1s}) и трајна термичка струја



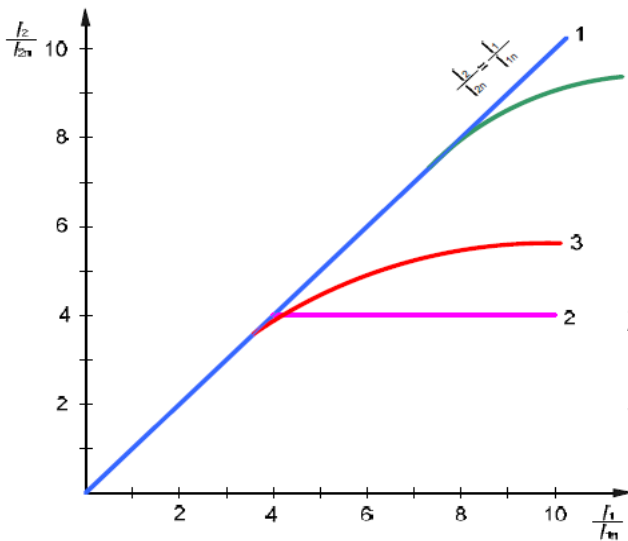
Струјни МТР-грешке и класе

- ▶ Струјна грешка је грешка коју ТР уноси у мерење ефективне вредности струје:

$$p_i [\%] = \frac{K_n I_2 - I_1}{I_1} 100$$

- ▶ Фазна грешка је фазни померај између вектора примарне и секундарне струје

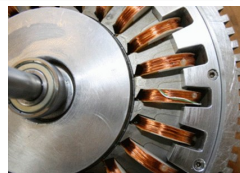
- ▶ Сложена грешка:
$$p_{is} [\%] = \frac{100}{I_1} \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (K_n i_2 - i_1)^2 dt}$$



1. идеална к-ка заштитног
2. идеална к-ка мерног
3. и 4. к-ка заштитног при 100% и 50% преоптерећења

Pri nazivnoj primarnoj struji			Pri граничним uslovima tačnosti	
klasa tačnosti	strujna greška %	ugaona greška min crad	greška %	vrsta greške
5P	±1	±60 ±1,8	5	složena greška pri struji $n \cdot I_{1n}$
10P	±3	- -	10	složena greška pri struji $n \cdot I_{1n}$

Klasa tačnosti	strujna greška ± p%						fazna greška ± α', min crad					
	% nazivne struje											
	1	5	20	50	100	120	1	5	20	50	100	120
0,1	-	0,4	0,2	-	0,1	0,1	-	15	8	-	5	5
0,2	-	0,75	0,35	-	0,2	0,2	-	0,45	0,24	-	0,15	0,15
0,2s	0,75	0,35	0,2	-	0,2	0,2	30	15	10	-	10	10
0,5	-	1,5	0,7	-	0,5	0,5	-	0,9	0,45	0,3	0,3	0,3
0,5s	1,5	0,75	0,5	-	0,5	0,5	90	45	35	-	30	30
1	-	3	1,5	-	1	1	2,7	1,35	0,9	-	0,9	0,9
3	-	-	-	3	-	3	-	5,4	2,7	-	1,8	1,8
5	-	-	-	5	-	5	nisu specificirane					

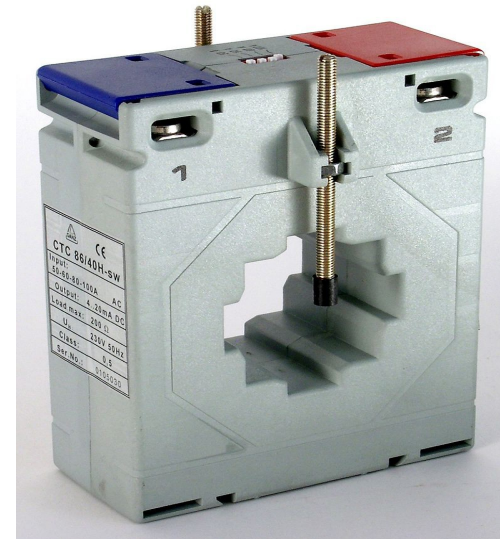


Струјни МТР-критеријуми избора и примери

▶ $U_{1n}=U_{n\text{mr}}; I_{1n}\geq I_{\text{max.rad}}; I_{1u}\geq i_u; I_{1s}\geq A^{1/2}; S\leq(0.5 \text{ до } 1.2)S_n; I_{2n} (1, 2, 5) \text{ A}$



ТЕХНИЧКИ ПОДАЦИ	STPN 12*
Nazivni napon	10kV
Najviši napon opreme	12 kV
Ispitni napon 50 Hz, 1 min.	35 kV
Ispitni napon 1.2/50 μ s	75 kV
Nazivna frekvencija	50/60 Hz
Nazivna primarna struja	400 do 4000 A
Nazivna sekundarna struja	5 A (ili 1 A)
Nazivna termička struja	$I_{th}=(100-200) I_n$
Nazivna dinamička struja	$I_{dyn} = \text{Prakti čno neograničena}$
Trajna termička struja	$I_{tth}=1.2 I_n$
Faktor sigurnosti	$F_s=5$
Termička klasa izolacije	E/B
Broj jezgara	1,2 ili 3
Vrsta osnovne izolacije	epoksidna smola
Težina	24 kg



обухватни



ВН за 110kV

ТЕХНИЧКИ ПОДАЦИ	ATM 24*
Nazivni napon	20 kV
Najviši napon opreme	24 kV
Ispitni napon 50 Hz, 1 min.	55 kV
Ispitni napon 1.2/50 μ s	125 kV
Nazivna frekvencija	50/60 Hz
Nazivna primarna struja	2 x 5 do 2 x 600 A
Nazivna sekundarna struja	5 A (ili 1 A)
Nazivna termička struja, 1 s	$I_{th}=(100-500) I_n \text{ — max } 120 \text{ kA}$
Nazivna dinamička struja	$I_{dyn} = 2.5 I_{th}$
Trajna termička struja	$I_{tth}=1.2 I_n$
Faktor sigurnosti	$F_s=5$
Termička klasa izolacije	E/B
Broj jezgara	1,2 ili 3
Vrsta osnovne izolacije	epoksidna smola
Masa	34 kg

Испитивање електричних машина
2. Мерење електричних величина (11/27)



Струјни сензори у погонима



Current Transducers HY 5..25-P

Primary nominal current rms I_{PN} (A)	Primary current, measuring range I_{PM} (A)
5	± 15
10	± 30
12.5	± 37.5
15	± 45
20	± 60
25	± 75



V_C	Supply voltage ($\pm 5\%$) ⁸⁾	± 12 .. 15	V
I_C	Current consumption	± 10	mA
\hat{I}_P	Overload capability (1 ms)	50 x I_{PN}	
V_d	Rms voltage for AC isolation test, 50 Hz, 1 min	2.5	kV
V_b	Rated isolation voltage rms	500 ²⁾	V
R_{IS}	Isolation resistance @ 500 VDC	> 1000	MΩ
V_{OUT}	Output voltage (Analog) @ + I_{PN} , $R_L = 10\text{ k}\Omega$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	± 4	V
R_{OUT}	Output internal resistance	100	Ω
R_L	Load resistance	> 1	kΩ

Accuracy - Dynamic performance data

X	Accuracy @ I_{PN} , $T_A = 25^\circ\text{C}$ (excluding offset)	< ± 1	%
ϵ_L	Linearity error ³⁾ ($0 \dots \pm I_{PN}$)	< ± 1	% of I_{PN}
V_{OE}	Electrical offset voltage @ $T_A = 25^\circ\text{C}$	< ± 40	mV
V_{OH}	Hysteresis offset voltage @ $I_P = 0$; after an excursion of $1 \times I_{PN}$	< ± 15	mV
TCV_{OE}	Temperature coefficient of V_{OE}	typ. ± 1.5 max. ± 3	mV/K mV/K
TCV_{OUT}	Temperature coefficient of V_{OUT} (% of reading)	< ± 0.1	%/K
t_r	Response time to 90% of I_{PN} step	< 3	μs
di/dt	di/dt accurately followed	> 50	A/μs
BW	Frequency bandwidth ⁴⁾ (-3 dB)	DC .. 50	kHz

General data

T_A	Ambient operating temperature	- 10 .. + 80	°C
T_S	Ambient storage temperature	- 25 .. + 85	°C
m	Mass	< 14	g
	Standards ⁵⁾	EN 50178: 1997	

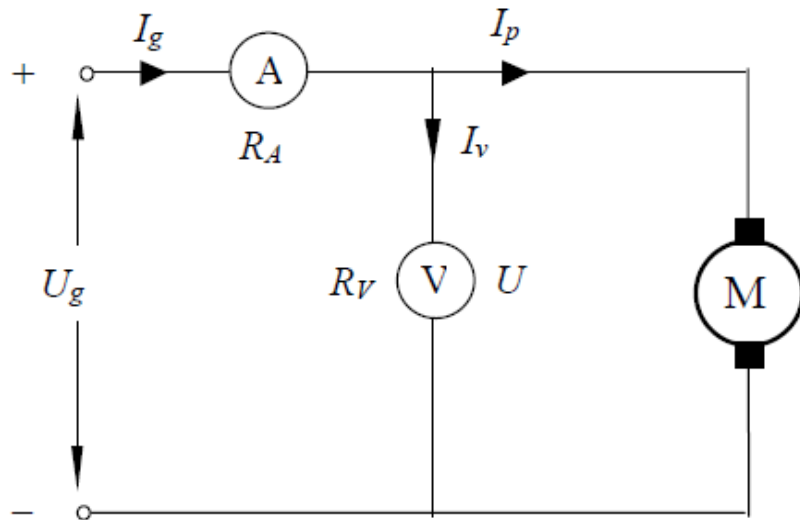
- ▶ Мерење AC и DC струје
- ▶ Велики пропусни опсег
- ▶ Мале димензије
- ▶ Произвођачи: LEM, Honeywell



2.2 Мерење снаге - Снага DC кола -

► Потреба:

- 1) Мерење утрошене снаге МЈС (P_1)
- 2) Корисна снага ГЈС (P)
- 3) Снага потрошње индуктора МЈС или СГ ($U_p \cdot I_p$)
- 4) Снага DC BUS-а претварача ($U_{bus} \cdot I_{bus}$)



► Грешка мерења једнака је потрошњи инструмената:

$$U I_g - U I_p = \frac{U^2}{R_v}$$

► Пример: $U=220V$, $I=10A$, $R_v=1.2M\Omega$
 $P_1=UI=2.2 \text{ kW}$, $P_v=U^2/R_v=0.04 \text{ W}$

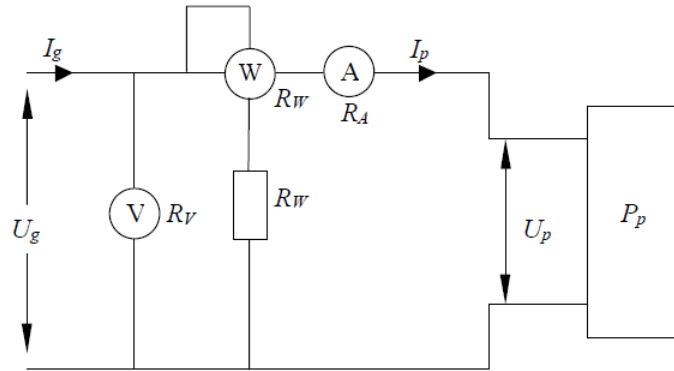
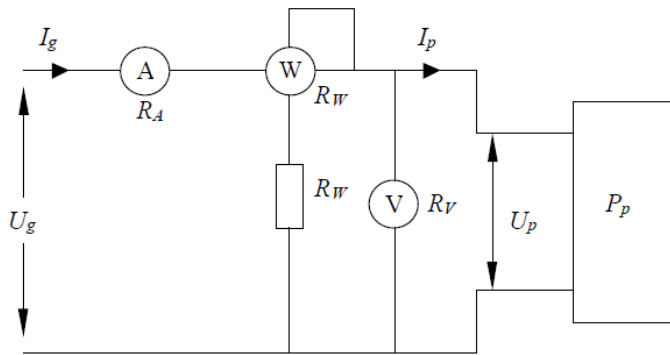
► Аналогно се мери привидна снага AC амперметром и волтметром за



Мерење снаге АС кола

- Активна снага -

- ▶ По правилу се користе ватметри, за лаб мерења **електродинамички** (0.1, 0.2, 0.5), а за индустријска **индукциони** или **електронски** (1, 1.5, 2, 2.5, 3)
- ▶ Мере се истовремено U , I ради одређивања привидне и реактивне снаге као и фактора снаге



Електродинамички W
(до $f=10\text{kHz}$)

спој	снага извора	снага пријемника
према слици лево	$P_W + I_g^2(R_\omega + R_A)$	$P_W - \left(\frac{U_t^2}{R_V} + \frac{U_t^2}{R_W}\right)$
према слици десно	$P_W + \frac{U_g^2}{R_v} + \frac{U_g^2}{R_W}$	$P_W - I_t^2(R_\omega + R_A)$

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

$$M = i_1 \cdot i_2 \cdot \frac{dL_{12}}{d\theta} \quad M = kUI \cos \varphi$$

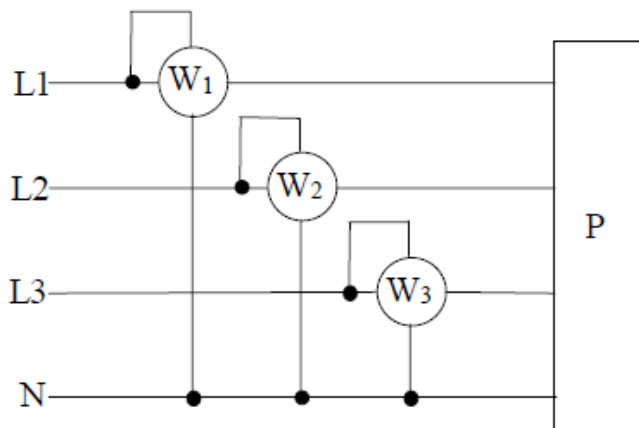
$$k_W = \frac{U_0 \cdot I_0}{\alpha_m} \quad k = k_W k_U k_I$$

$$P_W = k_W \cdot \alpha$$



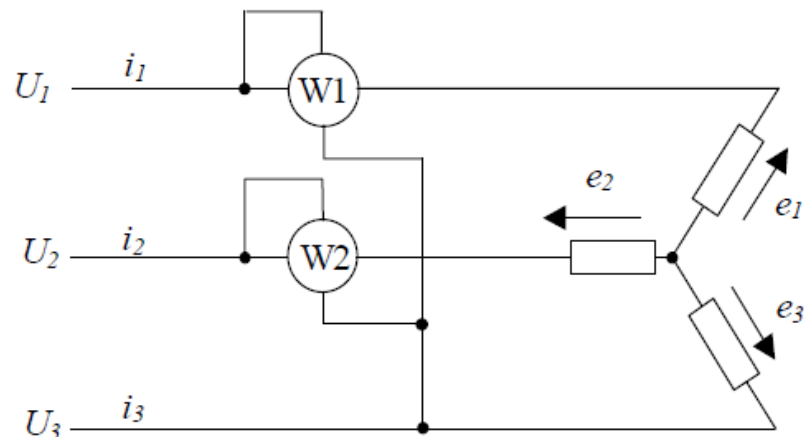
Активна снага 3f система

Метода три ватметра



$$P = P_1 + P_2 + P_3$$

Аронова спрега



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

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

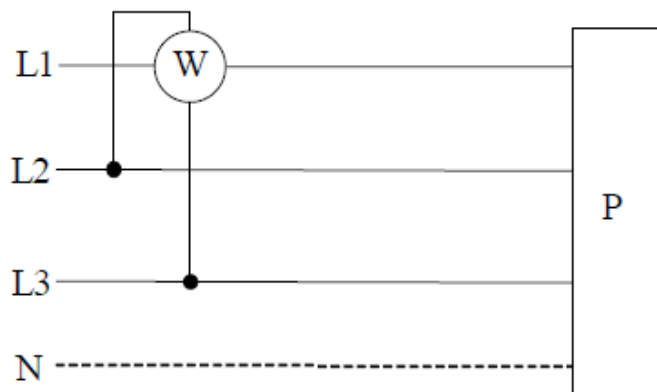
$$\operatorname{tg} \varphi = \sqrt{3} \frac{P_1 - P_2}{P_1 + P_2}$$



Реактивна снага 3f система

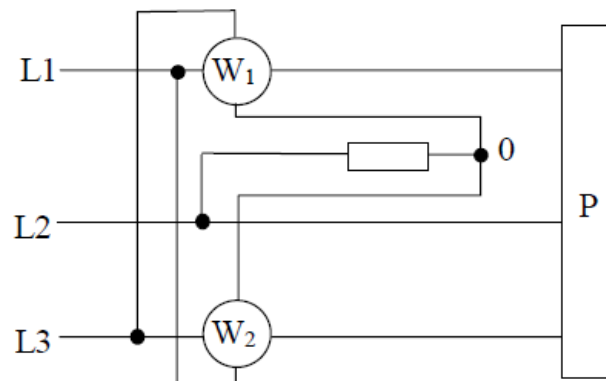
- ▶ Може се мерити варметрима који се спрежу на исти начин као ватметри
- ▶ У симетричним 3f системима могу се мерити и ватметрима и то: једним, два са нултим изводом, два у Ароновој спрези, три ватметра

Један W



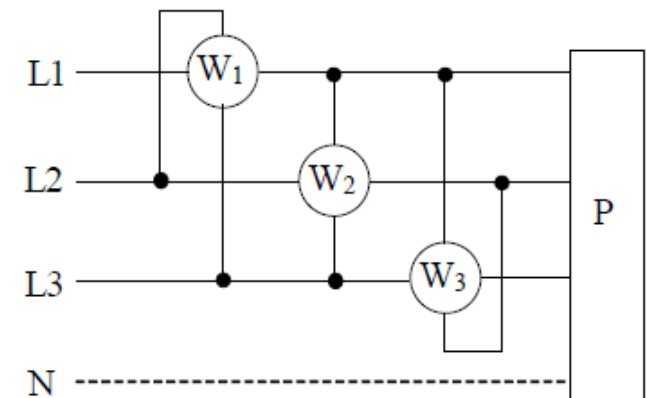
$$Q = \frac{3}{\sqrt{3}} k_w W = \sqrt{3} \cdot W$$

Два W са 0 изводом



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

Три W



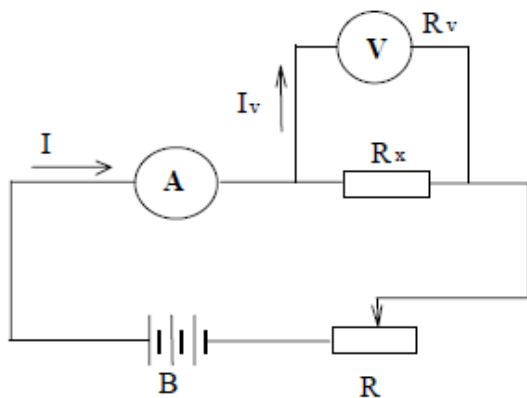
$$Q = \sqrt{3} (W_1 + W_2)$$



2.4 Мерење отпора намотаја и изолације

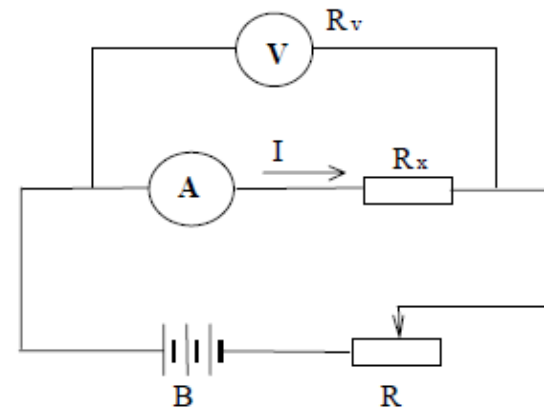
- Отпор намотаја -

- ▶ Потреба: одређивање губитака при датој струји, одређивање температуре загрејаног намотаја, утврђују се грешке при изради, контролише се прорачун и мерење.
- ▶ Свако испитивање ЕМ започиње мерењем отпора хладног намотаја при чему се забележи и његова температура.
- ▶ Мерење се врши U-I методом, а некад и мерним мостовима.



Напонски спој

$$R_x = \frac{U}{I - I_v} = \frac{U}{I - \frac{U}{R_v}}$$



Струјни спој

$$R_x = \frac{U - R_A I}{I} = \frac{U}{I} - R_A$$

- ▶ Струјни спој се користи за велике, а **напонски за мале отпоре (ЕМ)** и када није могуће избећи корекцију, јер је R_v увек дато и независно од температуре.
- ▶ Због избегавања загревања намота ради се са 5-10% I_n
- ▶ Могући проблеми: велика индуктивност, лоши контакти, четкице на ЈС машини
- ▶ На вредност индуктивности утичу и други намоти који нису отворени
- ▶ Пре искључења DC извора: искључити V, смањити I повећањем R_{pot}



Отпор намотаја DC машина

- ▶ Код мерења отпора намотаја редне и независне побуде употребљава се код машина мањих снага Витстонов мост, а код већих снага Томсонов мост.
- ▶ Мерење отпора ротора (индукта) захтева велику пажњу
- ▶ Под овим отпором подразумева се отпор између две ламеле на колектору размакнуте за један полни корак при погонском споју (све четкице леже на колектору)
- ▶ Овако измерена вредност се мења у уским границама зависно од положаја ротора јер се тиме мења покривеност ламела четкицама
- ▶ Мерење у погонском споју није поуздано за праћење увећања отпорности (температуре) али је погодно за поређење са прорачунатом вредношћу
- ▶ Тачније вредности се добијају код једнослојних намотаја ако се мерење врши између две означене ламеле
- ▶ Најтачнији резултати се добијају ако се скину четкице али се ово не практикује код великих машина
- ▶ Код намотаја прикључених преко клизних прстенова (ротор СМ или намотани ротор АМ) отпор се мери директно на клизним прстеновима
- ▶ Касније се урачунава пад напона на четкицама колекторских машина (2V-угљене, графитне или угљено-графитне), односно АС машина (0.6V-металографитне четкице)



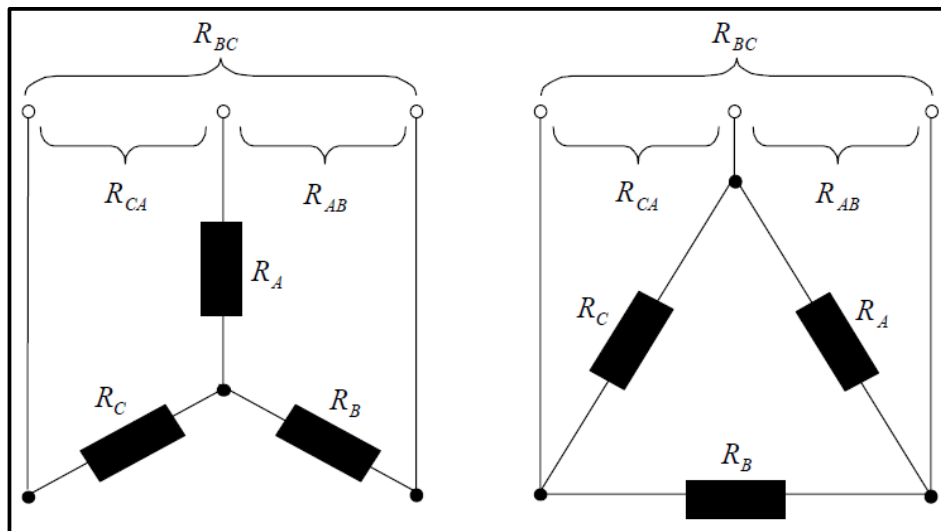
Мерење отпора трофазних намотаја

- ▶ Код 3f намотаја TP, AM и CM обично није могуће мерити директно отпоре фаза
- ▶ Ако постоји могућност потребно је измерити отпоре засебних фаза и забележити која отпорност ком намотају припада
- ▶ Ако се везе између намотаја не могу развезати мере се отпори између прикључних крајева па се затим фазне отпорности израчунавају
- ▶ Код TP се може јавити проблем услед велике индуктивности намотаја што узрокује велику временску константу

$$R_A = \frac{1}{2}(R_{AB} + R_{CA} - R_{BC})$$

$$R_B = \frac{1}{2}(R_{BC} + R_{AB} - R_{CA})$$

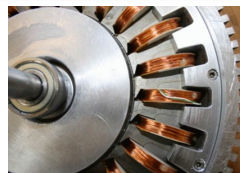
$$R_C = \frac{1}{2}(R_{CA} + R_{BC} - R_{AB})$$



$$R_A = \frac{1}{2} \left(\frac{4 \cdot R_{BC} \cdot R_{CA}}{-R_{AB} + R_{BC} + R_{CA}} - [-R_{AB} + R_{BC} + R_{CA}] \right)$$

$$R_B = \frac{1}{2} \left(\frac{4 \cdot R_{CA} \cdot R_{AB}}{+R_{AB} - R_{BC} + R_{CA}} - [+R_{AB} - R_{BC} + R_{CA}] \right)$$

$$R_C = \frac{1}{2} \left(\frac{4 \cdot R_{AB} \cdot R_{BC}}{+R_{AB} + R_{BC} - R_{CA}} - [+R_{AB} + R_{BC} - R_{CA}] \right)$$



2.3 Мерење отпора изолације

- ▶ Стање изолације ЕМ је од пресудне важности за њен поуздан рад
- ▶ Особине изолације се непрестано мењају јер је изложена механичким, топлотним и диелектричним напрезањима
- ▶ Пре прикључивања ЕМ на ун напон проверава се отпор изолације на основу кога се утврђује стање изолованости, евентуална оштећења и чија се вредност пореди са каснијим испитивањима
- ▶ Нормална вредност отпора изолације креће се од $0,5\text{M}\Omega$ па навише и зависи од: количине влаге у изолацији, трајања мерења, температуре, мерног напона, величине машине, врсте и дебљине изолационог материјала...
- ▶ Систематским мерењима стиче се увид у старење изолације ако се мерења врше под истим условима
- ▶ Према искуственој препоруци орјентациона вредност довољног отпора изолације треба да буде онолико $\text{M}\Omega$ колико kV износи номинални напон машине.
- ▶ Прилично груба процена и ограничена на машине које немају превелик напон.



Мерење отпора изолације

- ▶ Амерички стандарди прописују прецизнију формулу за довољан отпор изолације СГ и АМ преко 1 MVA:

$$R_i = k_\theta k_i \frac{(U_n + 3,6)(8 + \sqrt{n})}{\sqrt{P_n} - 16}$$

n – номинална брзина [o/min];
 U_n – ном. напон [kV];
 P_n – номинална снага [MVA];
 k_θ и k_i - температурни и изолациони коефицијент

- ▶ За снаге испод 1 MVA примењује се следећа формула:

$$R_i [\text{M}\Omega] = U_n [\text{kV}] + 1$$

- ▶ За побудне намотаје и МЈС снаге мање од 100kW захтева се најмање 1MΩ при температури 75°C и мерном напону од 500V

- ▶ Преко 100kW примењује се следећа формула:

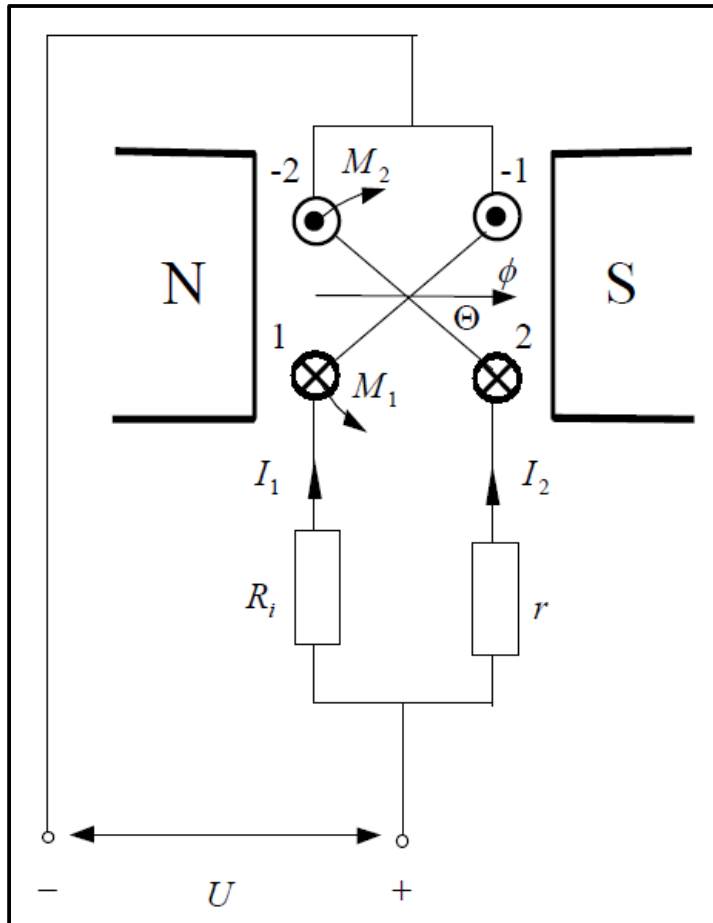
$$R_i = k_e k_i \frac{n + 700}{0,1P_n + 500}$$

n – номинална брзина [o/min];
 P_n – номинална снага [kW];
 k_θ – температурни коефицијент;
 k_e -напонски коефицијент одређен нивоом U_n ;



Мерење отпора изолације

- ▶ Мерење се врши једносмерним напоном (500-4000V) помоћу мегометра



$$M_1 = NI_1\phi \sin \theta$$

$$M_2 = NI_2\phi \cos \theta$$

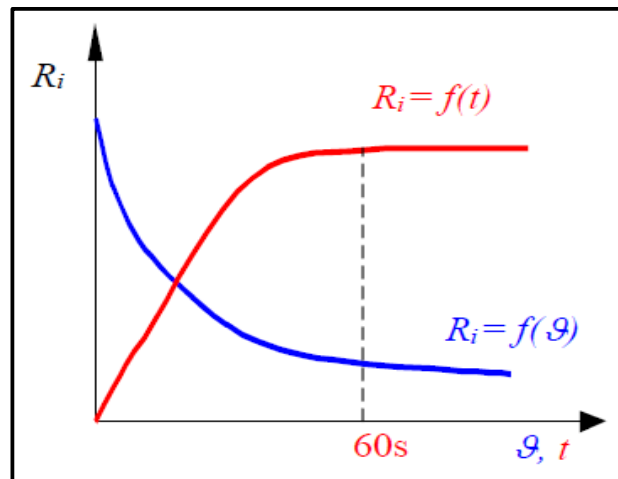
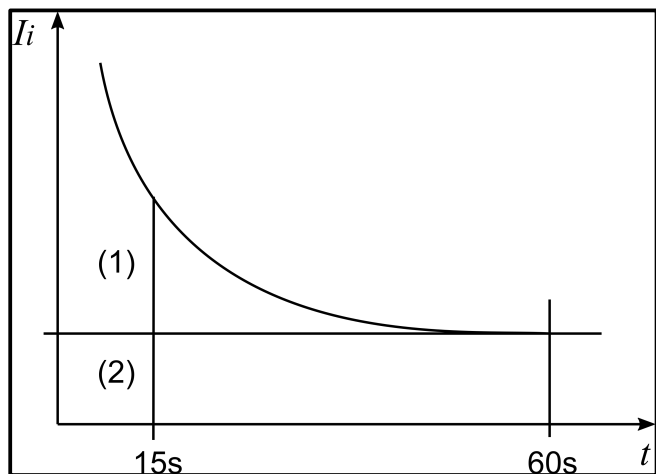
$$NI_1 \sin \theta = NI_2 \cos \theta \Rightarrow \operatorname{tg} \theta = \frac{I_2}{I_1} = \frac{R_i}{r_i} \Rightarrow R_i = r_i \operatorname{tg} \theta$$

- ▶ Промена опсега врши се променом r_i



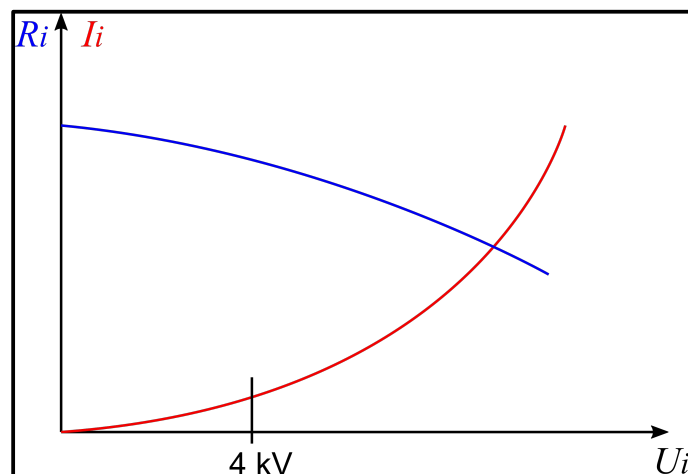
Мерење отпора изолације

► Зависност од трајања мерења тумачи на основу постојања две компоненте у струји кроз изолацију у току мерења, а то су: (1) поларизациона и (2) излациона.



► Отпор изолације опада са температуром

► Пожељно је измерити и при загрејаном намоту



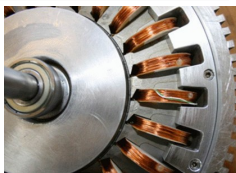
► Напон не би требао да буде већи од 4 kV

► Преко 4 kV струја нагло расте, а отпор пада и јављају се додатни ефекти који утичу на нелинеарност отпора изолације



Мерење отпора изолације - пример дистрибутивног ТР -

- ▶ Код ТР изолација се проверава мерењем изолационог отпора **сваког намотаја према маси и намотаја међусобно**
- ▶ За ДТР снаге до 4 MVA мерење се врши једном у четири године, а за 4MVA и преко, једном у две године
- ▶ Испитни напон мегометра је 1kV DC за намотаје напона до 1kV AC, односно 2.5kV DC за намотаје напона преко 1kV AC
- ▶ По успостављању пуног испитног напона на мегометру изврши се његово прикључивање на један крај намотаја и масу ТР. Од тог тренутка се мери време и бележи показивање инструмента након 15 и 60 секунди и обележава са **R15 и R60**.
- ▶ При мерењу се бележи и **температура намотаја**
- ▶ Сматра се да изолованост намотаја задовољава уколико је “сачинилац упијања” тј. **R15/R60** већи од:
 - 1,5 за нове ТР, ТР после оправке или за ТР после радионичког одржавања
 - 1,3 за трансформаторе у експлоатацији
- ▶ **НАПОМЕНА:** После сваког испитивања намотај се мора кратко спојити или уземљити ради пражњења капацитета намотаја према маси



2.4 Рачун грешака

▶ Према тачности инструменти се деле на прецизне (лабораторијске) и индустријске (погонски). Класе тачности прецизних су 0.1, 0.2 и 0.5, а индустријских 1, 1.5, 2.5 и 5.

▶ Апсолутна грешка инструмента:

$$\Delta \alpha = \alpha' - \alpha \quad (\alpha' - \text{измерена вредност}, \alpha - \text{тачна вредност})$$

▶ Апсолутна грешка је дефинисана датом **класом тачности инструмента**

$$\text{класа} = \frac{\Delta \alpha}{\alpha_m} \cdot 100 [\%]$$

▶ Релативна грешка у процентима:

$$\alpha_r = \frac{\Delta \alpha}{\alpha} \cdot 100 \approx \frac{\Delta \alpha}{\alpha'} \cdot 100 [\%]$$

▶ За дату апсолутну грешку инструмента релативна грешка у току мерења ће бити већа што је мерена величина мања. Треба бирати мерни опсег тако да се постигне максимално скретање при мерењу



Грешке при мерењу снаге Ароновом спрегом

▶ Абсолютна грешка ће бити:

$$\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2$$

▶ Релативна грешка ће бити:

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{\Delta P_1 + \Delta P_2}{P_1 + P_2}$$

▶ Пошто је у имениоцу алгебарски збир релативна грешка много зависи од фактора снаге

▶ Размотрићемо три карактеристична случаја под претпоставком да је $\Delta P_1 = \Delta P_2$

$$\cos\varphi = 1, P_1 = P_2$$

$$\cos\varphi = 0.5 \text{ ind}, P_1 = P, P_2 = 0$$

$$\cos\varphi \rightarrow 0$$

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{\Delta P_1 + \Delta P_1}{P_1 + P_1} = \frac{\Delta P_1}{P_1}$$

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{\Delta P_1 + \Delta P_1}{P_1 + P_2} = 2 \frac{\Delta P_1}{P}$$

$$\frac{\Delta P}{P} \rightarrow \infty$$

▶ Користити ватметре са малим сопственим $\cos\varphi$ (0,1) да би се постигло максимално скретање

▶ Све више су у употреби дигитални инструментима који имају велику тачност на широком опсегу $\cos\varphi$

