

ZAGREVANJE MAŠINA

Usled razvijene snage gubitaka temperatura električnih mašina je veća od temperature ambijenta. Prenos toplote se uvek javlja kada postoji razlika temperature u sistemu.

- **Pretpostavke za analizu zagrevanja električnih mašina:**
 - **Mašina homogeno telo**
 - **Gubici ravnomerno raspoređeni**
 - **Gubici konstantni u vremenu**
 - **Jednako odvođenje toplote sa svih delova**

ZAGREVANJE MAŠINA

Energija gubitaka je toplotna energija, tako da temperatura mašine zavisi od snage gubitaka. Toplotna energija razvijena u mašini povećava temperaturu mašine u odnosu na temperaturu ambijenta- **nadtemperatura**.

$$\vartheta = \theta_{maš} - \theta_a$$

Ako se pretpostavi da je mašina homogeno telo tada je **bilans toplotnih energija**:

$$\underbrace{P_g \cdot dt}_{\text{Energija gubitaka}} = \underbrace{p \cdot S \cdot \vartheta \cdot dt}_{\text{Odvedena toplota}} + \underbrace{m \cdot c_p \cdot d\vartheta}_{\text{Akumulirana energija}}$$

P_g -snaga gubitaka u mašini;

ϑ -nadtemp., porast temperature mašine u odnosu na ambijent [K];

$\theta_{maš}$ -temperatura mašine [°C];

θ_a -temperatura ambijenta - okoline [°C];

p -odvedena snaga po jedinici površine i jedinici nadtemp. [W/m²K];

c_p -specifični toplotni kapacitet mašine [Ws/kg K];

S -površina hlađenja;

m -masa mašine;

ZAGREVANJE MAŠINA

Kada se dostigne maksimalan porast (stacionarna vrednost) temperature sva toplotna energija gubitaka se predaje okolini i ne zadržava se u mašini:

$$\underbrace{P_g \cdot dt}_{\text{Energija gubitaka}} = \underbrace{p \cdot S \cdot \vartheta \cdot dt}_{\text{Odvedena toplota}} + \underbrace{m \cdot c_p \cdot d\vartheta}_{\text{Akumulirana energija}} \rightarrow 0$$

Maksimalan (stacionaran) porast temperature

$$\vartheta_{\max} = \frac{P_g}{p \cdot S}$$

Rešavanjem gornje kompletne diferencijalne jednačine:

$$\frac{P_g}{p \cdot S} \cdot dt = \vartheta \cdot dt + \underbrace{\frac{m \cdot c_p}{p \cdot S}}_T \cdot d\vartheta \Rightarrow$$

$$\vartheta_{\max} \cdot dt = \vartheta \cdot dt + T \cdot d\vartheta$$

$$\frac{dt}{T} = \frac{d\vartheta}{\vartheta_{\max} - \vartheta}$$

T -vremenska konstanta zagrevanja mašine [s];

ZAGREVANJE MAŠINA

Vremenska konstanta zagrevanja mašine T. Definicija. Vreme koje je potrebno da se dostigne stacionarno povišenje temperature definisano gubicima u uslovima **adijabatskog** zagrevanja (bez odvođenja toplote).

$$\underbrace{P_g \cdot dt}_{\text{Energija gubitaka}} = \underbrace{p \cdot S \cdot \vartheta \cdot dt}_{\text{Odvedena toplota}} + \underbrace{m \cdot c_p \cdot d\vartheta}_{\text{Akumulirana energija}}$$

Porast temperature u uslovima adijabatskog zagrevanja:

$$\vartheta_{adij}(t) = \frac{P_g}{m \cdot c_p} \cdot t$$

Iz uslova : $\vartheta_{adij}(t = T) = \vartheta_{\max} \Rightarrow$ $T = \frac{m \cdot c_p}{p \cdot S}$

Vremenske konstante električnih mašina:

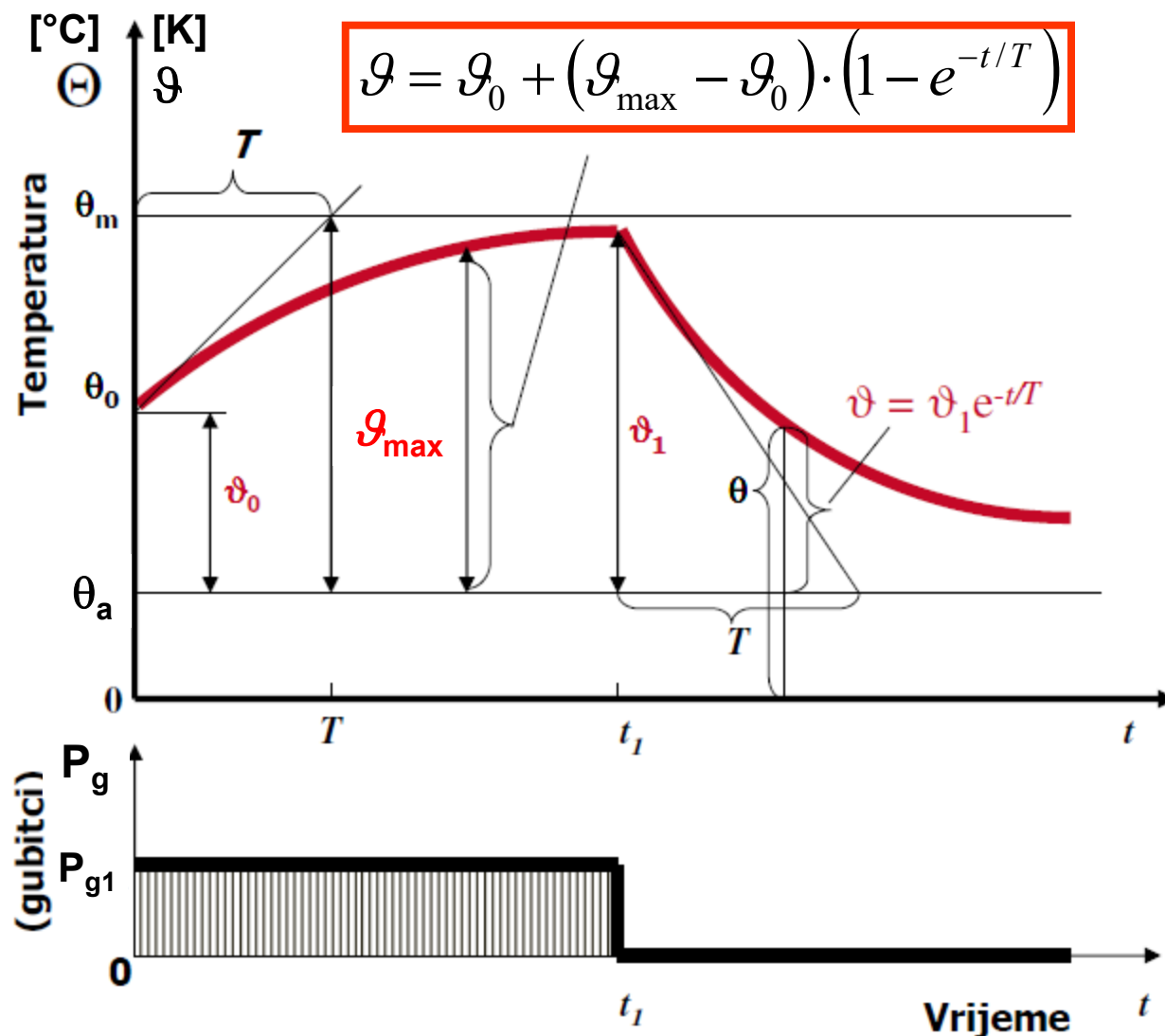
Elektromagnetni procesi	Mehanički procesi	Vremenska konstanta zagrevanja
0.1 – 100 ms	10 ms – 10 s	10 – 60 min.

ZAGREVANJE MAŠINA

$$\frac{dt}{T} = \frac{d\vartheta}{\vartheta_{\max} - \vartheta} \Rightarrow$$

Konačno povišenje temperature u odnosu na ambijent nezavisno je od početnog povišenja temperature ϑ_0 . Zbog toga se obično analizira slučaj kada je početno povišenje temperature mašine $\vartheta_0=0$.

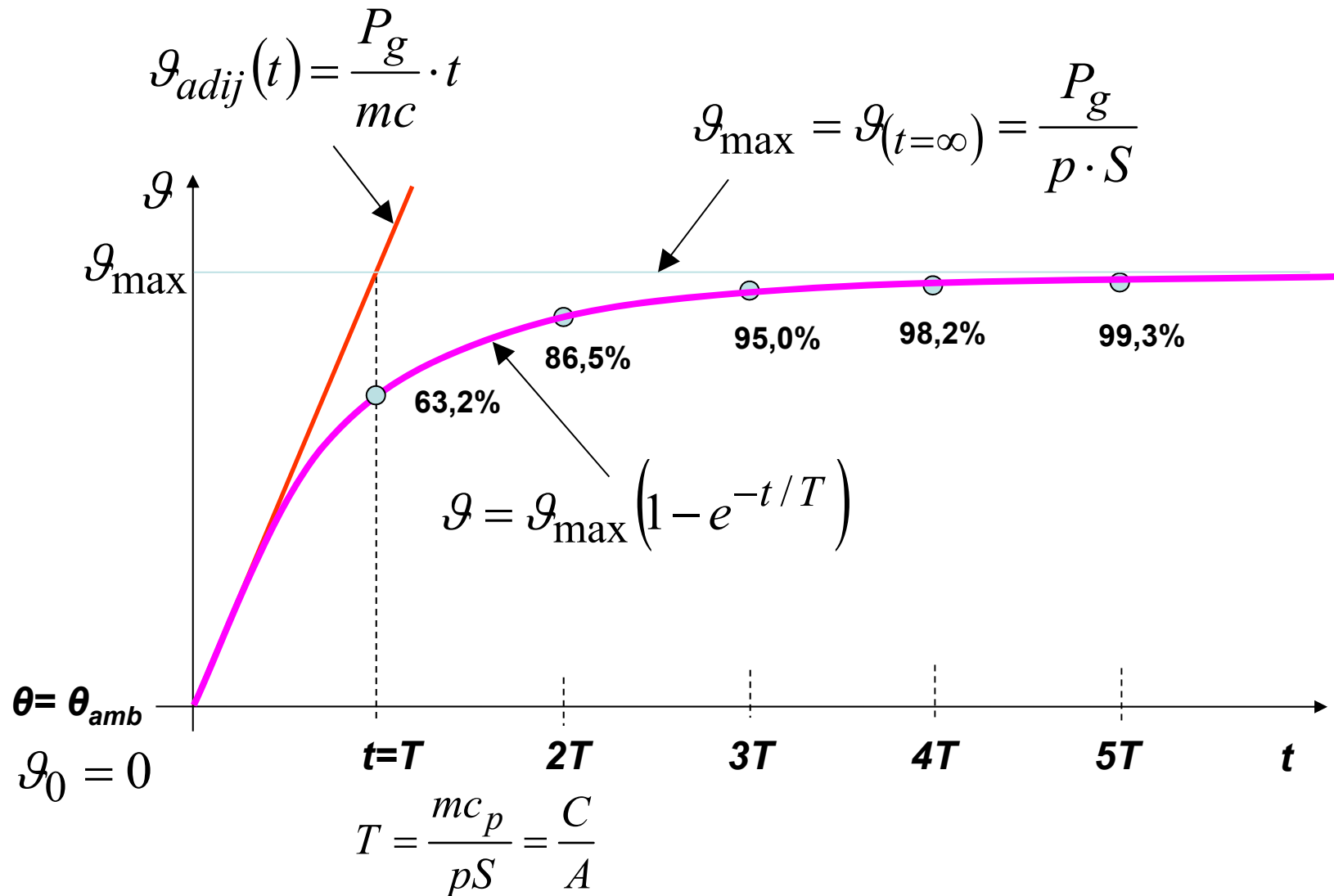
Promena nadtemperature mašine:



ZAGREVANJE MAŠINA

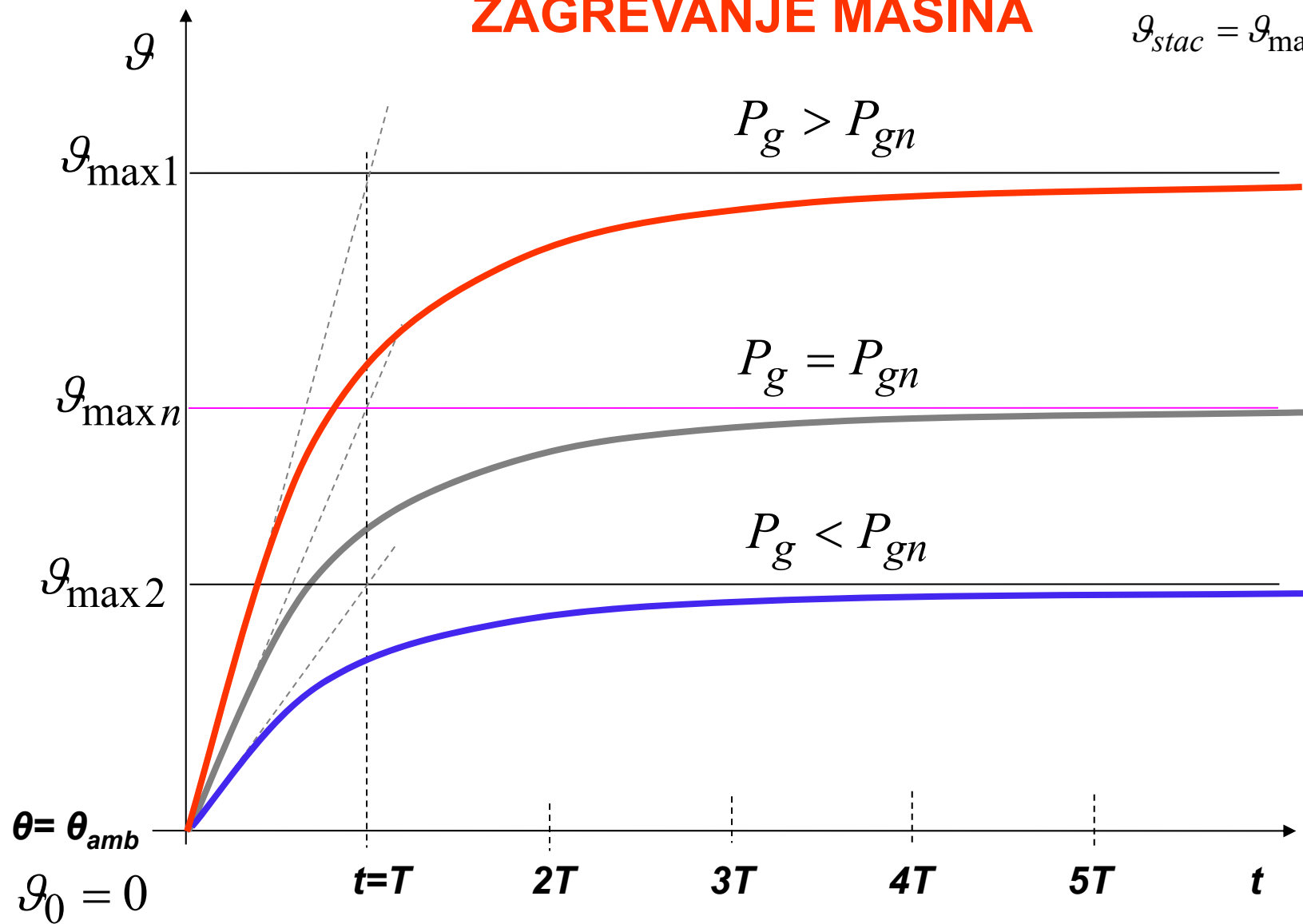
Promena nadtemperature mašine za $\vartheta_0=0$. :

$$\vartheta = \vartheta_{\max} \left(1 - e^{-t/T} \right)$$



ZAGREVANJE MAŠINA

$$\vartheta_{stac} = \vartheta_{max} = \frac{P_g}{p \cdot S}$$



Krive porasta temperature pri različitim opterećenjima.

HLAĐENJE MAŠINA

Do hlađenje dolazi kada se snaga gubitaka smanji ili se poveća odvođenje toplote. Do izraza za nadtemperaturu tokom hlađenja mašine se dolazi iz:

$$\underbrace{P_g \cdot dt}_{\substack{\text{Energija gubitaka} \\ 0}} = \underbrace{p \cdot S \cdot \vartheta \cdot dt}_{\text{Odvedena toplota}} + \underbrace{m \cdot c_p \cdot d\vartheta}_{\text{Akumulirana energija}}$$
$$\boxed{\vartheta(t) = \vartheta_0 \cdot e^{-\frac{t}{T}}}$$

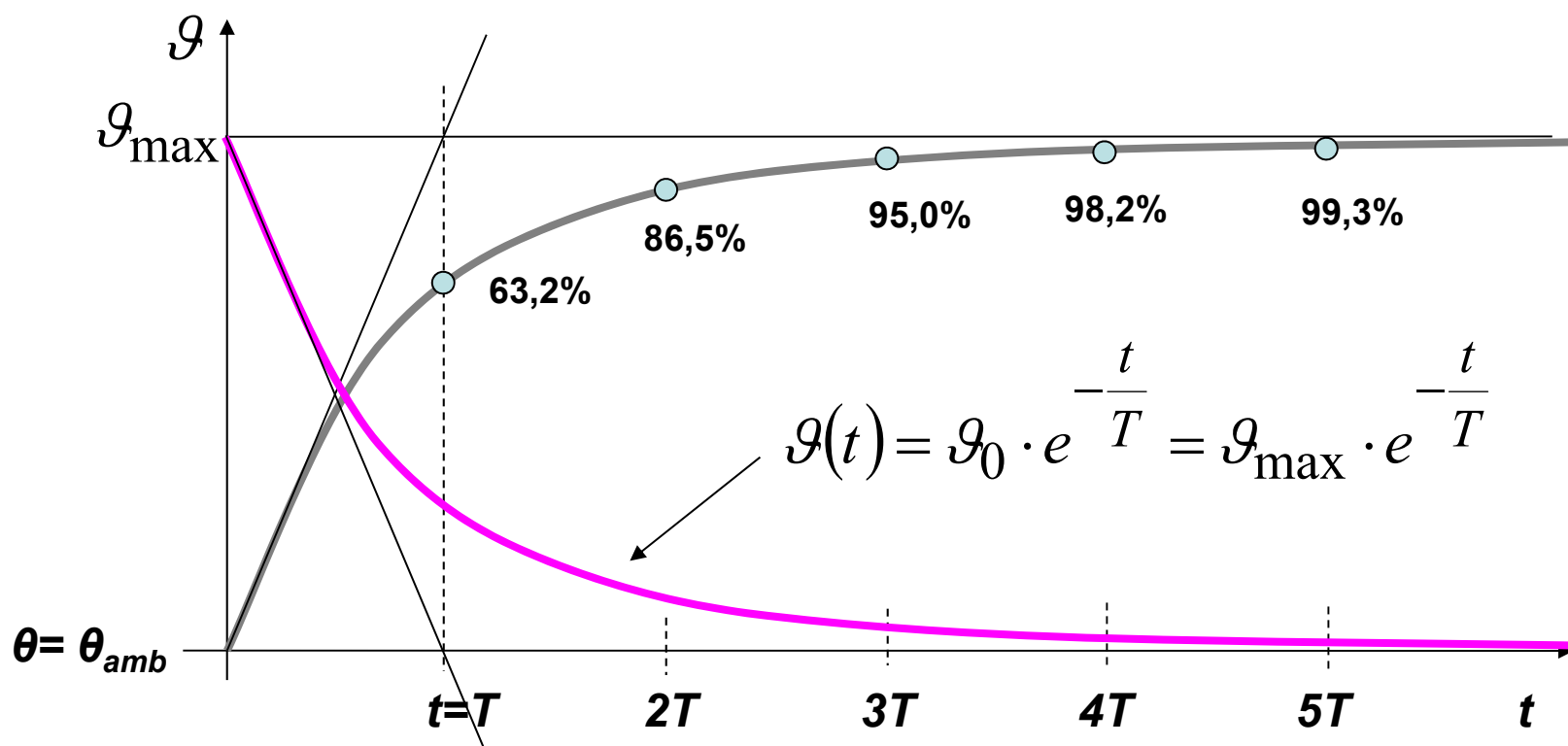
- Treba uočiti da su vremenska konstanta **hlađenja** i **zagrevanja** iste ukoliko su isti uslovi odvođenja toplote. $T = \frac{m \cdot c_p}{p \cdot S}$

- Kod motora sa ventilatorom na sopstvenom vratilu pri isključenju dolazi do smanjenog odvođenja toplote pa se vremenska konstanta hlađenja mašine uvećava nekoliko puta u odnosu na vremensku konstantu zagrevanja mašine.

HLAĐENJE MAŠINA

$$T_{hladjjenja} = T_{zagrevanja} = \frac{m \cdot c_p}{p \cdot S}$$

Vremenske konstante su jednake samo ako su uslovi odvođenja toplote identični – **ista specifična snaga odvođenja toplote p** .

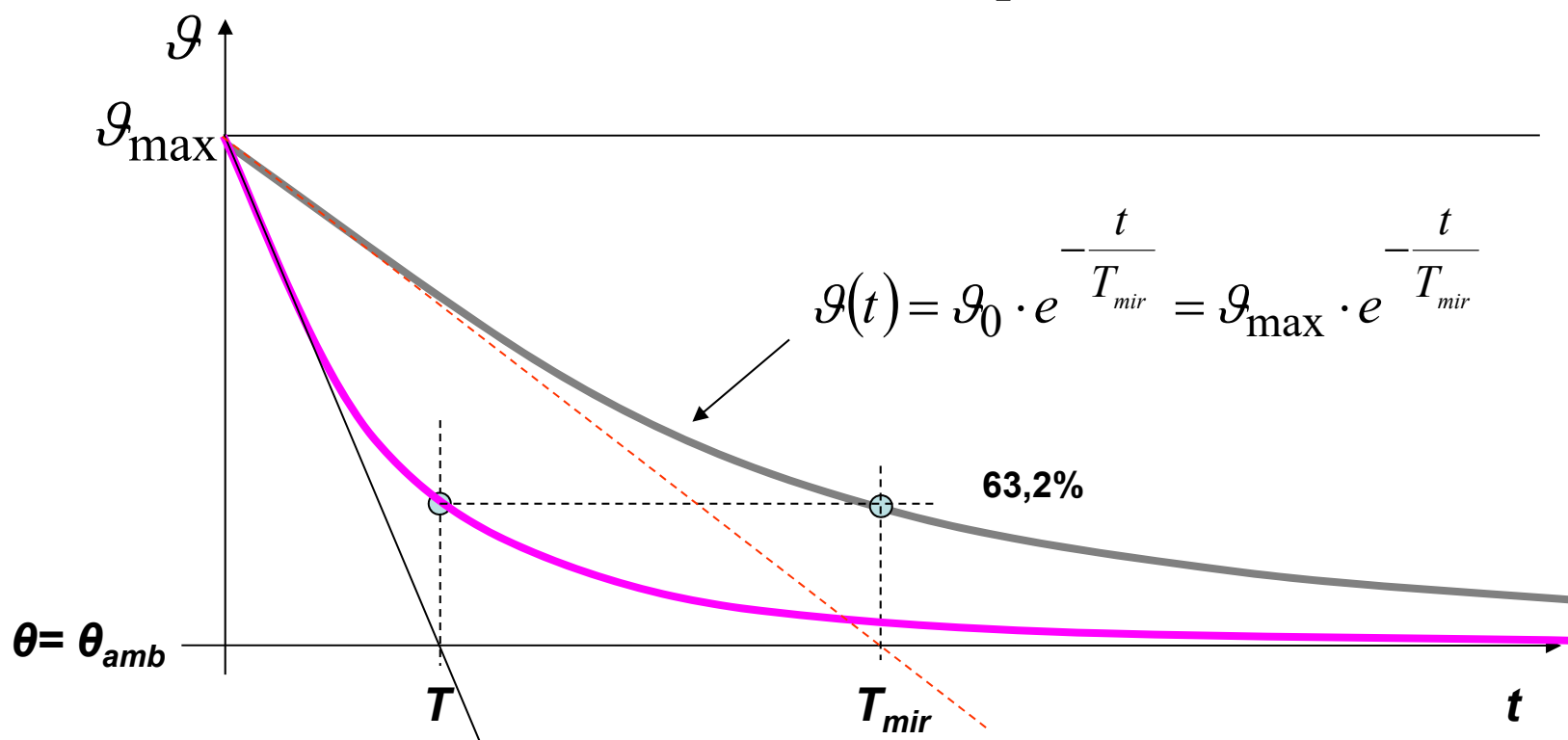


Krive promene nadtemperature pri zagrevanju - hlađenju mašine.

HLAĐENJE MAŠINA

Ako bi motor prestao da rotira odvođenje toplote bi se osetno pogoršalo – **smanjila bi se specifična snaga odvođenja toplote p usled izostanka ventilacije.**

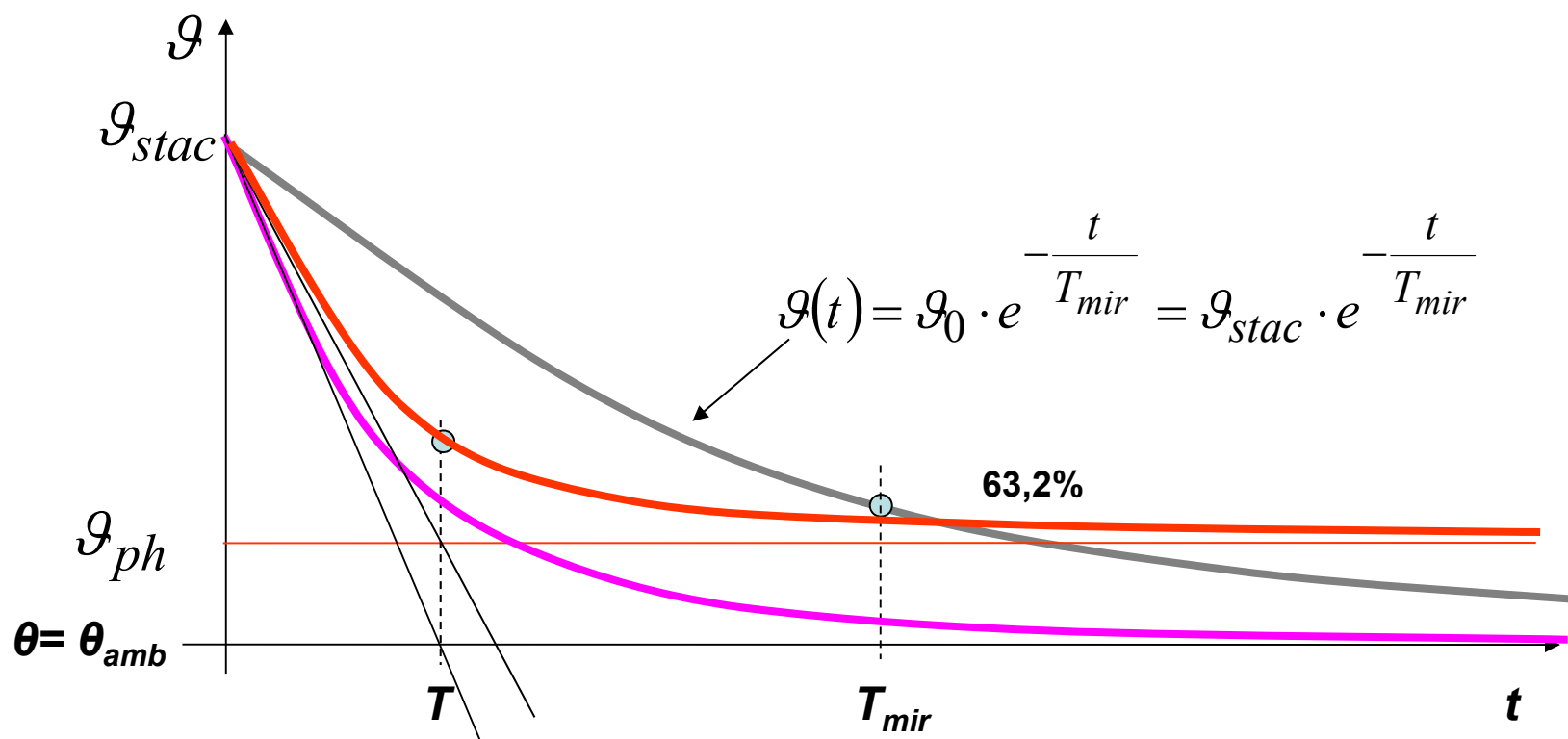
$$T_{hladjenja} > T_{zagrevanja} = \frac{m \cdot c_p}{p \cdot S}$$



Krive promene nadtemperature sa zaustavljenim rotorom (mirovanje) – prinudnom ventilacijom.

HLAĐENJE MAŠINA

Efikasno hlađenje mašine nastaje ako se mšina rastereti i pusti da radi u režimu praznog hoda.



Krive promene nadtemperature sa zaustavljenim rotorom (mirovanje)
– prinudnom ventilacijom – rasterećena mašina u praznom hodu.

TERMIČKE KLASSE IZOLACIJE

Izolacioni materijali s obzirom na vrednost dozvoljene temperature θ_{izol} [°C] podeljeni su u termičke klase izolacije TKI za koje se dozvoljava trajno povišenje temperature mereno promenom vrednosti otpora namota ϑ_{doz} [K]. Pri tome se podrazumeva da je temperatura ambijenta (okoline) u kojoj radi motor $\theta_a = 40[°C]$, a nadmorska visina do 1000m.

TKI	Y	A	E	B	F	H
θ_{izol} [°C]	90	105	120	130	155	180
ϑ_{dozn} [K]	45	60	75	80	100	125

- Rotacone električne mašine se izrađuju sa izolacijom u TKI B -retko (smola, šelak) i F -najčešće (mikadur, liskun, epoksi).
- Uljinim transformatorima se dopušta porast temperature namotaja od 65 [K], a maksimalan porast temperature ulja pri vrhu suda od 60 [K].
- Suvi transformatori se izrađuju sa izolacijom u TKI F ili većoj.

Tabela iz IEC62 114 o termičkoj klasi elektroizolacionog sistema EIS.
Najnovijim standardom TKI su označene brojčano gde brojka predstavlja
dozvoljenu temperaturu izolacije θ_{izol} .

Preferred designations for the thermal classes of EIS are as follows:

Table 1 – Thermal class designations

Thermal class designation		Historical designation
θ_{izol}	90	Y
	105	A
	120	E
	130	B
	155	F
	180	H
	200	200
	220	220
	250	250
Designation of thermal classes over 250 shall increase by increments of 25 and be designated accordingly.		
NOTE The old class C that was used for all temperatures above 180 °C has been replaced by the above thermal classes and is no longer valid.		

If desired, the historical designation may be added in parentheses, e.g. class 180(H).

TERMIČKE KLASSE IZOLACIJE

$$R_1 = R_{20} (1 + \alpha \cdot (\theta_1 - 20))$$

$$R_2 = R_{20} (1 + \alpha \cdot (\theta_2 - 20))$$

Gde je $\alpha = 0,00392 [^{\circ}\text{C}^{-1}]$

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{235 + \theta_2}{235 + \theta_1}$$

$$\mathcal{I} = \theta_2 - \theta_1$$

•Očekivani životni vek izolacije iznosi 20000 radnih sati pri temperaturi namotaja θ_{izol} koja je definisana TKI. Rad motora sa temperaturom izolacije koja je manja od temperature definisane TKI produžava očekivani životni vek izolacije. Naravno važi i obrnuto. Rad motora pri temperaturi koja je veća od TKI skraćuje očekivani životni vek izolacije. Svako povećanje temperature izolacije za 8 K iznad temperature definisane TKI praćeno je sa smanjenjem životnog veka za dvostruku vrednost vremena tokom kog je bila ova temperatura.

- Merenje temperature namotaja se može realizovati upotrebom Pt100 otpornika postavljenih u namotaje mašine. Ovaj pristup se retko koristi zato što podrazumeva upotrebu nestandardnih motora (motora sa PT100 otpornikom). Standardna metoda za merenje temperature mašine podrazumeva merenje temperature promenom otpornosti namotaja mašine.
- Kako se otpornost provodnika menja sa temperaturom to je iskorišćeno za merenje temperature ili promene temperature namotaja. Meri se otpornost namotaja u hladnom stanju tj. na temperaturi ambijenta i u toplom stanju, meri se temperatura ambijenta pa se iz ove jednačine određuje temperatura mašine. Na ovaj način se određuje srednja temperatura celog namotaja uključujući: provodnike koji su postavljeni na dno ili na vrh žleba, glave namotaja koje su van magnetnog kola. Namotaj se nalazi u različitim termičkim uslovima pa je nekim tačkama namotaja temperatura veća od srednje temperature namotaja, ovo su temperaturni džepovi.

TERMIČKE KLASSE IZOLACIJE

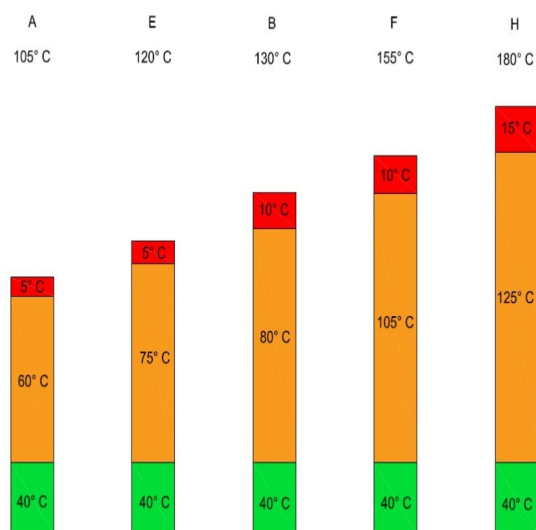
Temperatura namotaja u mašini $\theta_{maš} = \theta_a + \vartheta < \theta_{izol}$ treba da je manja od dozvoljene temperature izolacije θ_{izol} definisane TKI.

Ako se saberu standardizovana temperatura ambijenta 40°C i dozvoljeni porast temperature, ϑ_{dozn} za TKI, suma je manja od dozvoljene temperature izolacije θ_{izol} navedenoj za TKI. Ova razlika predstavlja temperaturnu rezervu od 5÷15°C.

$$40 + \vartheta_{dozn} < \theta_{izol}$$

Smatra se da temperaturni džepovi namotaja ulaze u granice ovako definisane temperaturne rezerve.

TKI	Y	A	E	B	F	H
θ_{izol} [°C]	90	105	120	130	155	180
ϑ_{dozn} [K]	45	60	75	80	100	125



θ_{izol} Maksimalna dozvoljena temperatura izolacije

Temperaturna rezerva

ϑ_{dozn} Maksimalni dozvoljeni porast temperature izolacije

θ_{an} Standardizovana temperatura ambijenta

TERMIČKE KLASSE IZOLACIJE

•Proizvođači rotacionih električnih mašina koriste izolacioni materijal iz TKI F za koga deklarišu porast temperature prema TKI B. Na ovaj način se izolaciji daje temperaturna rezerva od 25°C. Ova temperaturna rezerva omogućuje kratkotrajna preopterećenja ili rad sa nominalnim opterećenjem pri većoj temperaturi ambijenta u odnosu na standardizovanu temperaturu ambijenta od 40°C.

Class F insulation system

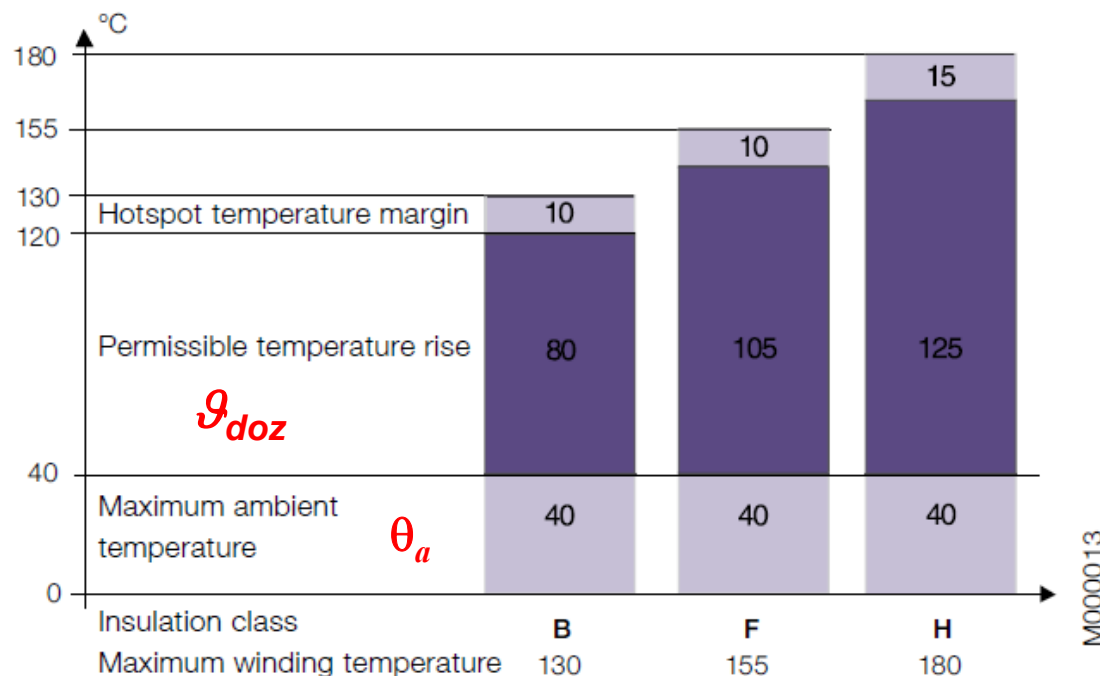
- Max ambient temperature 40° C
- Max permissible temperature rise 105 K
- Hotspot temperature margin + 10 K

Class B rise

- Max ambient temperature 40° C
- Max permissible temperature rise 80 K
- Hotspot temperature margin + 10 K

Insulation system temperature class

- Class F 155° C
- Class B 130° C
- Class H 180° C



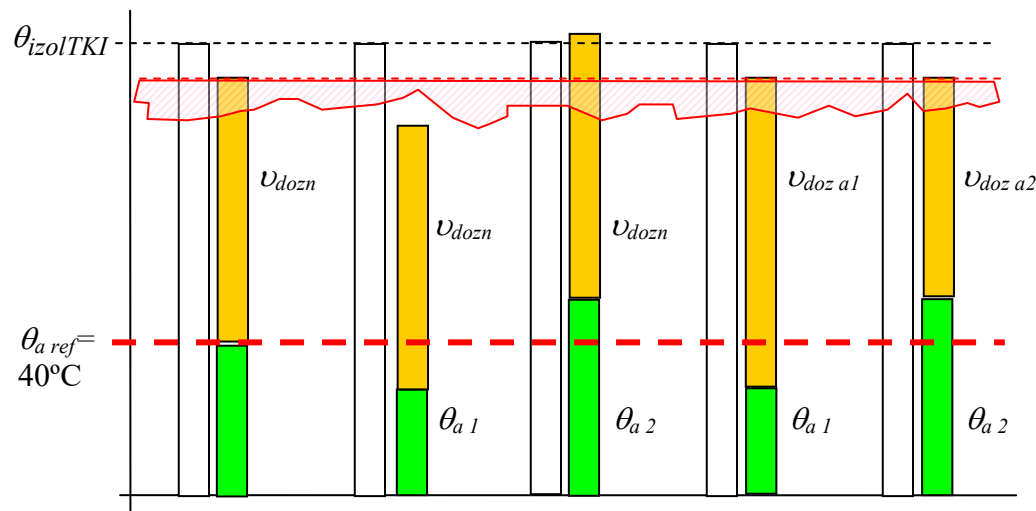
$$\theta = \theta_a + \vartheta_{doz}$$

M000013

TERMIČKE KLASSE IZOLACIJE

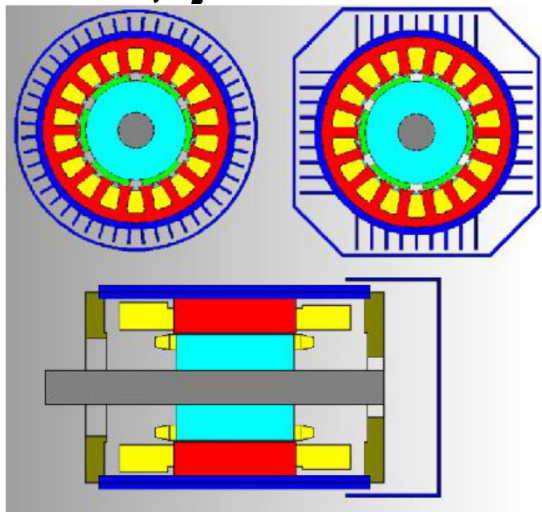
U zavisnosti od toga da li temperatura ambijenta raste iznad referentne vrednosti ili opada ispod, mora se smanjivati opterećenje motora ili se može povećavati opterećenje, a da temperatura izolacije ne pređe dozvoljenu vrednost definisanu TKI.

TKI	Y	A	E	B	F	H
θ_{izol} [°C]	90	105	120	130	155	180
ϑ_{dozn} [K]	45	60	75	80	100	125

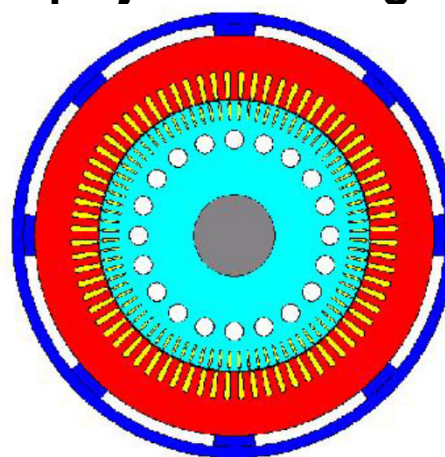


HLAĐENJE MAŠINA

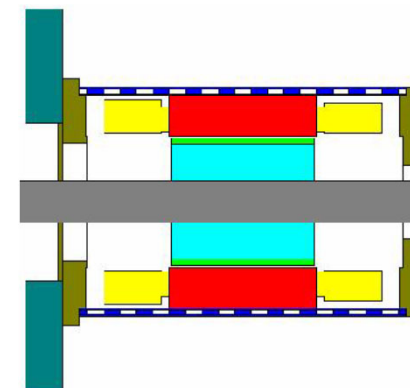
Cena električne mašine je pre svega određena masom upotrebljenog materijala (bakra i gvožđa), te je sa stanovišta konkurencije trend smanjenje mase mašine. Smisao intenziviranog hlađenja je da se odvođenjem veće količine toplote iz mašine, dobije željena snaga iz što manje mase materijala koji je upotrebljen za njenu izradu. Ako se hlađenje mašine intenzivira to dopušta povećanje gubitaka odnosno snage mašine. Time dobijamo specifično lakše mašine, tj. mašine sa manjom masom po jedinici snage kg/kW.



Hlađenje el.mašine strujanjem vazduha preko kućišta.



Hlađenje el.mašine tečnim (voda, glikol) plaštom. Strujanje tečnosti može biti aksijalno ili obodno.



Ilustracija. Ako motor sa vodenim hlađenjem ostane bez cirkulacije vode snaga sa kojom se on može opteretiti postaje višestruko manja od snage dok postoji cirkulacija vode.

HLAĐENJE MAŠINA

Toplotna energija iz električne mašine se odvodi u okolinu:

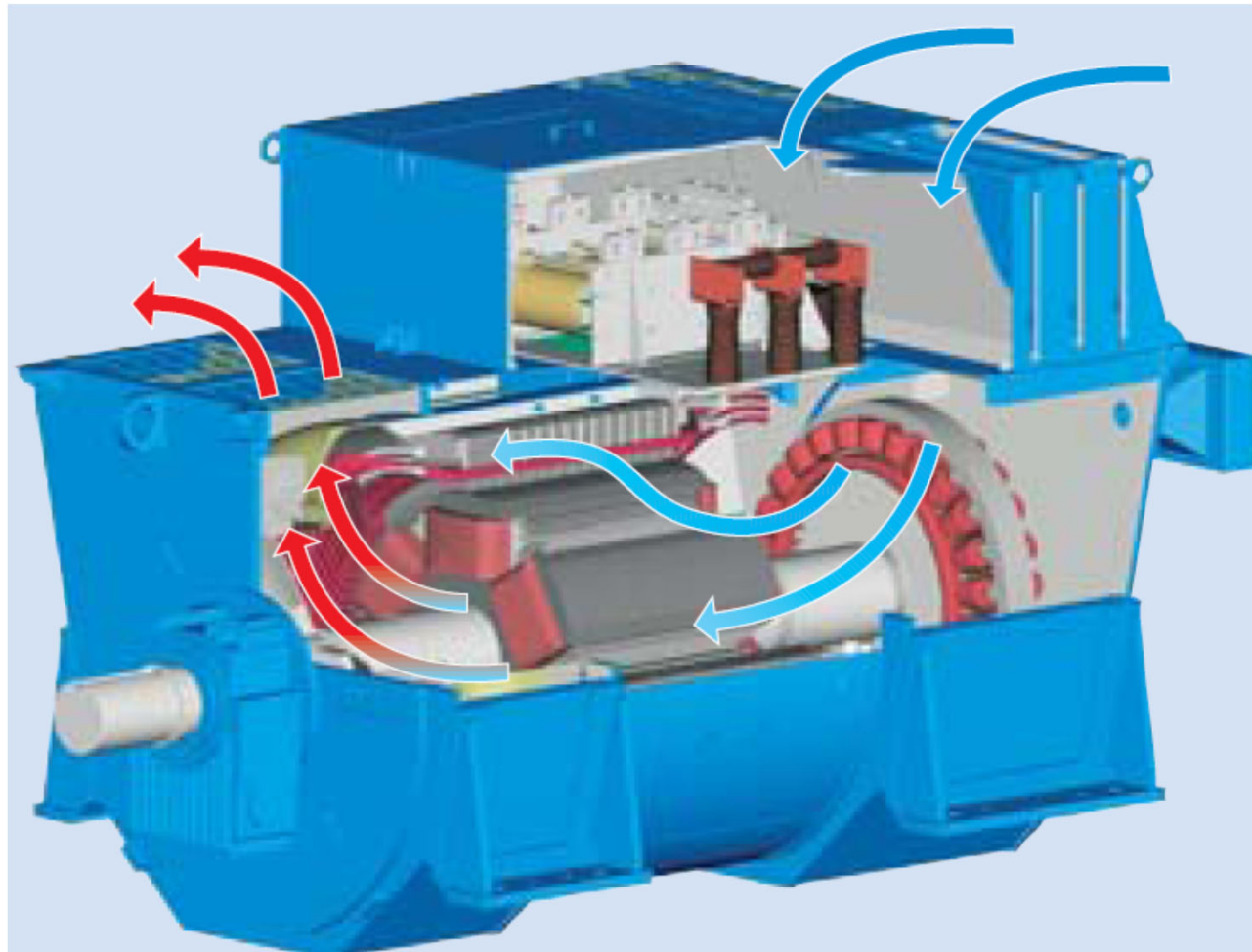
- kondukcijom (provođenjem)
- radijacijom (zračenjem)
- konvekcijom (strujanjem fluida)

Udeo konvekcije u odvođenju toplote opada kako se smanjuje snaga mašine, dok je kod najvećih mašina skoro sva energija gubitaka odvedena konvekcijom.

Ilustracija. Mašine snage do nekoliko kW mogu biti izrađene bez ventilatora na svom vratilu. U tom slučaju oslobođena toplota u mašini se odvodi kondukcijom i radijacijom.

U zavisnosti od snage mašine rashladni fluid može biti: vazduh, vodonik, voda.

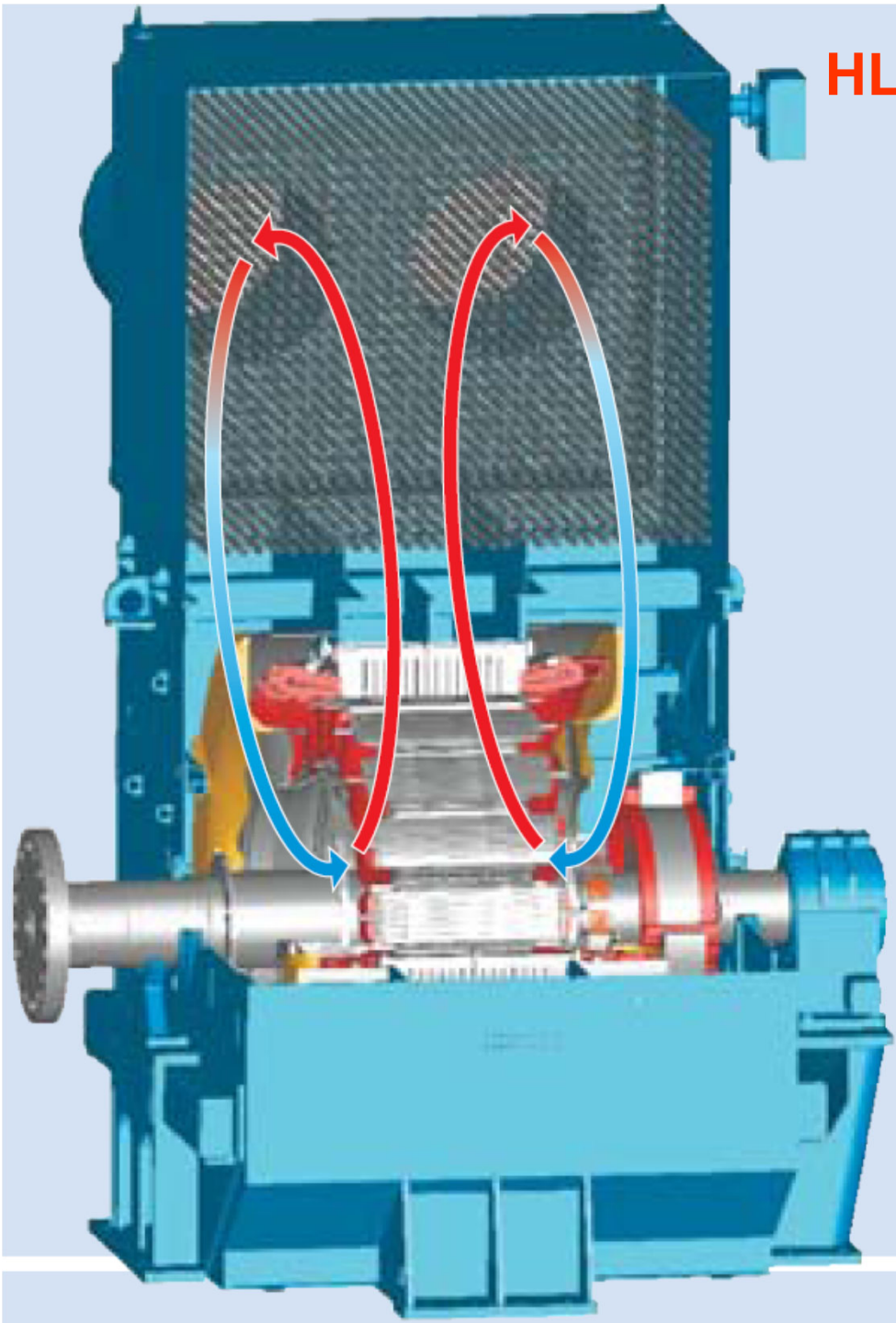
HLAÐENJE MAŠINA



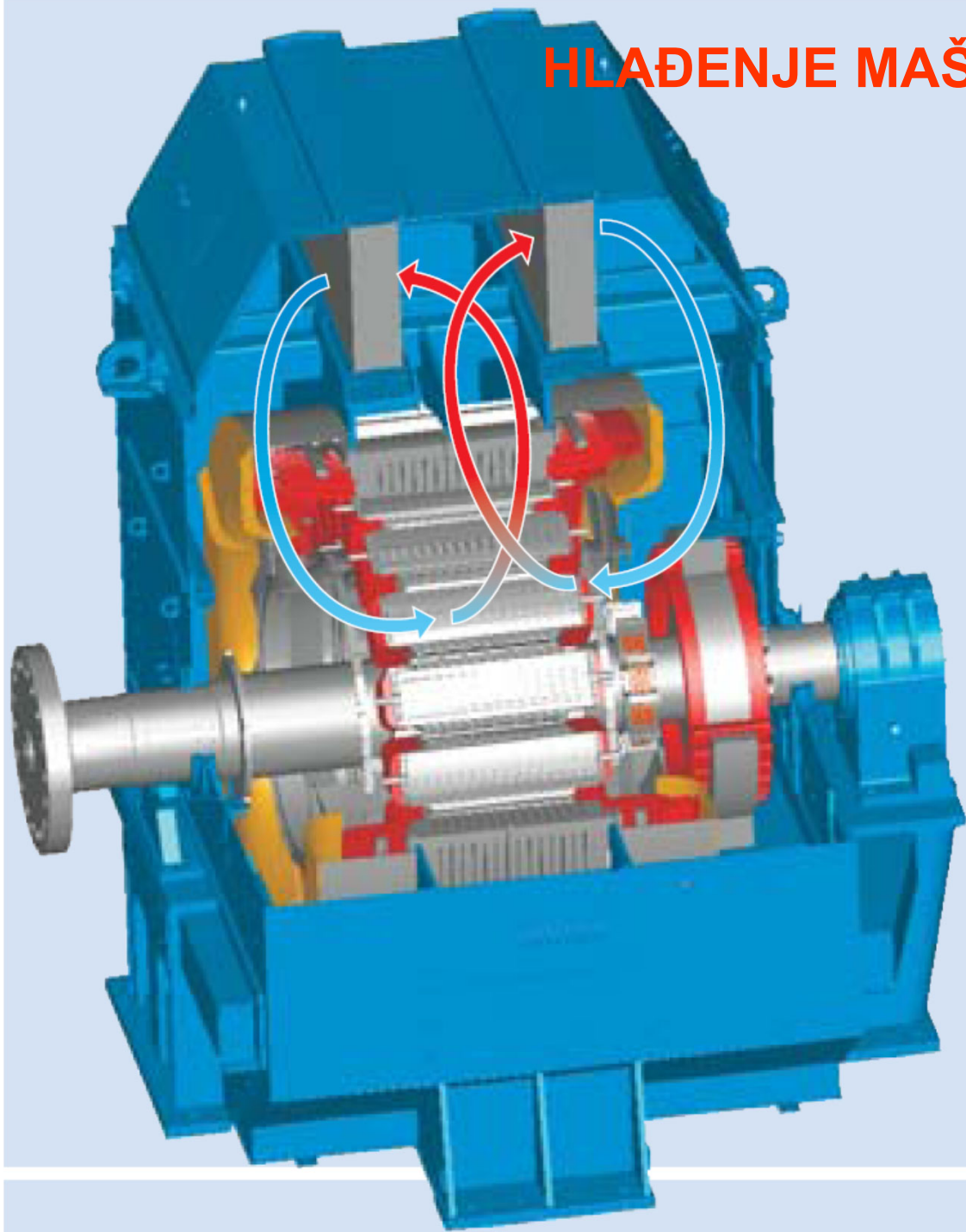
**An open air cooled motor (IC0A1)
with drip proof protection (IP23)**

HLAÐENJE MAŠINA

A totally enclosed motor (IP54) using an air-to-air heat exchanger (IC6A1A6)



HLAĐENJE MAŠINA



**A totally enclosed motor (IP54)
using an air-to-water heat
exchanger (IC8A1W7)**

HLAĐENJE MAŠINA



Sinhrona mašina sa vodonikom kao rashladnim sredstvom. Stator je oklopljen i mora izdržati pritisak od 10 bara. Turbo generatori snage 300MVA i više kao rashladni medijum koriste vodu.



RADE KONČAR
ZAGREB YUGOSLAVIA

Genetrator u TE Ugljevik

Tipa	998-2	IV br.	1385
20000	V	10200	A
353000	kVA	cos ϕ	0.85
3600	min	50	Hz
strana	447	V	2900
klasa izlaza je	stator/rotor	F/B	
standard	IEC		
pritisak	vodika	u kucištu statora	0.5 Mpa
pritisak	voda	u namotu statora	0.4 Mpa
protok	voda	kroz namot statora	35 m ³ /h
pritisak		u namotu rotora	Mpa
protok		kroz namot rotora	m ³ /h
7450	kgm ²	okolina	°C
pobjeg	3600	min	
Proizveden 1983. godine			

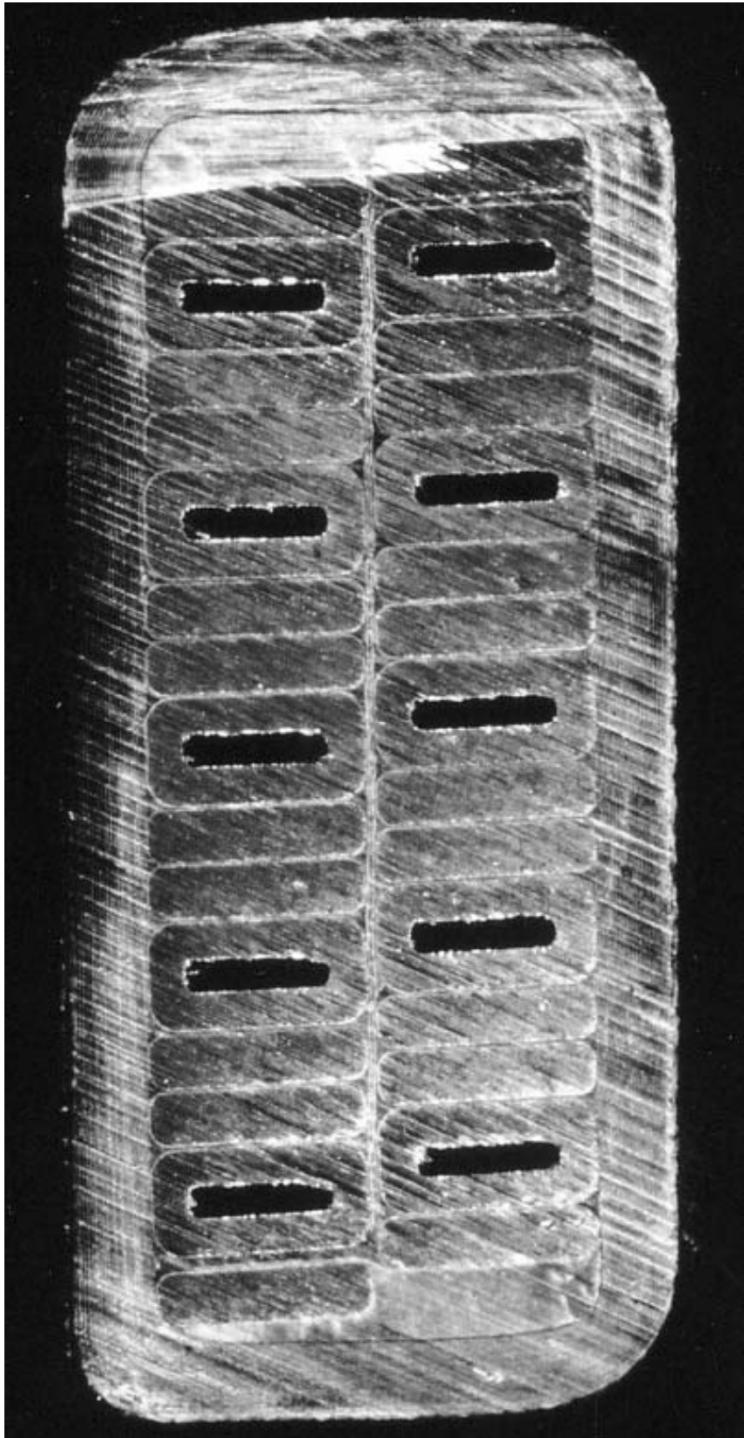


Figure 1.18. (a) Photo of cross-section of a water-cooled Roebel bar with transpositions.

Kada se koristi voda kao rashladno sredstvo u provodnicima namotaja postoje kanali kroz koje struji voda.

ŠTA ČINI SNAGU GUBITAKA?

ELEKTRIČNI GUBICI. Nastaju u namotajima usled proticanja struje izazvane opterećenjem, a nazivaju se još “Džulovi gubici”, “Gubici u bakru”, “Gubici usled opterećenja”. Svi ovi nazivi su opravdani, jer električni gubici postoje u namotaju, koji su najčešće od bakra, zavise od opterećenja, znači promenljivi (varijabilni) su.

$$P_{Cu} = q \cdot R \cdot I^2 = P_{Cun} \left(\frac{S}{S_n} \right)^2; R = \rho \frac{l}{S_{Cu}}$$

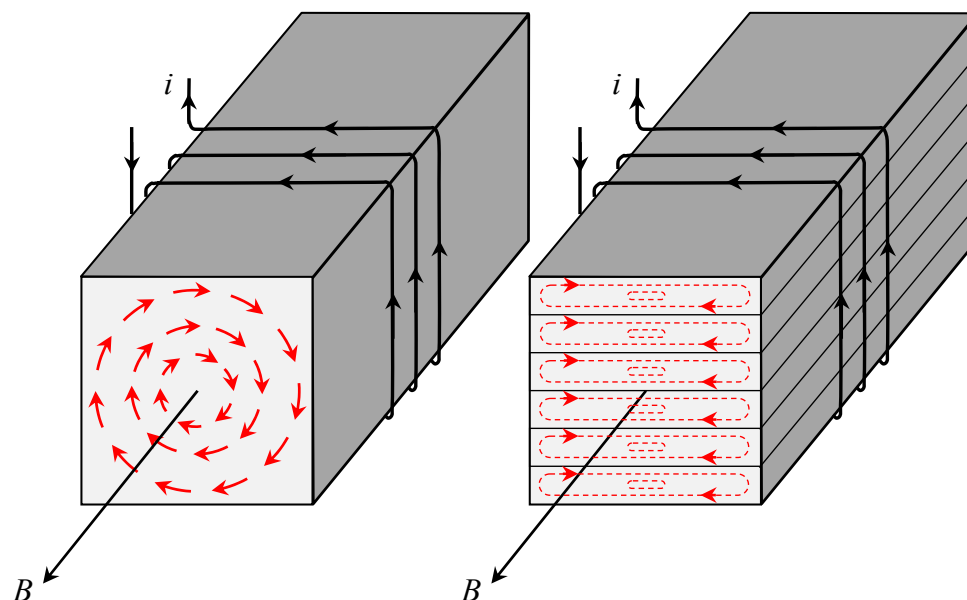
Ovako izračunata snaga gubitaka u Cu naziva se “čisti gubici” ili “gubici usled jednosmerne struje”. Kada se namotaj sa naizmeničnom strujom nalazi u magnetnom polju dolazi do povećanja gubitaka u Cu koje nastaje zbog nejednake gustine struje po preseku provodnika. Povećanje otpornosti zbog nejednake gustine struje može se uvažiti pomoću Fildovog sačinioca.

MEHANIČKI GUBICI. Gubici **trenja** i **ventilacije**.

GUBICI U MAGNETNOM KOLU. Gubici usled **vrtložnih struja** i **histerezisa**. Nastaju u gvožđu mašine prožetom promenljivim fluksom. Ne zavise od postojanja struje opterećenja.

Gubici u **gvožđu** i **mehanički** gubici predstavljaju gubitke **praznog hoda**. Ovi gubici su stalni tj. ne zavise od opterećenja. Pokrivaju se iz pogonske mašine u generatorskom režimu rada, a iz električnog izvora u motorskom režimu.

-Gubici usled vrtložnih struja-



Nastanak vrtložnih struja i efekta **lameliranja** magnetnog kola u svrhu smanjenja gubitaka usled vrtložnih struja.

Ako se u promenljivom magnetnom polju nalazi neko telo od provodnog materijala u njemu se može zamisliti mnoštvo zatvorenih provodnih kontura kroz koje teče struja usled indukovane EMS u konturi. Ove struje se nazivaju vrtložne (vihorne) struje i one su neminovan pratilac promenljivog magnetnog polja unutar provodnika. Kao posledica tih struja dolazi do Džulovih gubitaka u provodniku (feromagnetiku) u kome se javljaju vrtložne struje. Da bi se smanjili gubici magnetno kolo se izrađuje od limova – lamelira. Između limova je izolacija.

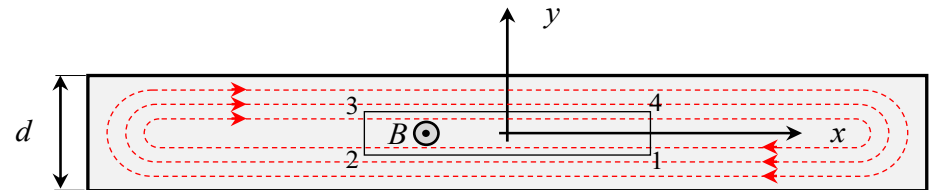
-Gubici usled vrtložnih struja-

Ako je lim prožet naizmeničnom indukcijom $B(t) = B_m \cos(\omega t)$ indukovano el. polje ima x-komponentu i iznosi J/σ . Primenom Faradejevog zakona za konturu:

$$\oint_{1234} \vec{E}_{ind} \cdot d\vec{l} = - \frac{d}{dt} \left(\int_S \vec{B} \cdot d\vec{S} \right)$$

$$\oint_{1234} \frac{\vec{J}}{\sigma} \cdot d\vec{l} = - \frac{d}{dt} (2yLB_m \cos \omega t)$$

$$2L \frac{J(y,t)}{\sigma} = 2yL\omega B_m \sin \omega t$$



$$J(y,t) = y\sigma\omega B_m \sin \omega t$$

Snaga Džulovih gubitaka u jedinici zapremine lima:

$$\frac{dP_J}{dv} = \frac{J^2}{\sigma} = y^2 \sigma \omega^2 B_m^2 \sin^2 \omega t$$

Snaga gubitaka u limu je:

$$P_J = \int_{-d/2}^{d/2} \frac{dP_J}{dv} S dy = S \sigma \omega^2 B_m^2 \sin^2 \omega t \int_{-d/2}^{d/2} y^2 dy = \frac{2}{3} \left(\frac{d}{2} \right)^3 S \sigma \omega^2 B_m^2 \sin^2 \omega t$$

Srednja snaga gubitaka (ukupni gubici) usled vrtložnih struja:

$$P_{J sr} = \frac{1}{24} S \sigma \omega^2 B_m^2 d^3 = \frac{1}{24} \sigma \omega^2 B_m^2 d^2 V_{Fe} = \frac{1}{6} \sigma \pi^2 f^2 B_m^2 d^2 \frac{m_{Fe}}{\rho} = k_{vs} f^2 B_m^2 d^2 m_{Fe}$$

zavise od f , B_m , d .

-Gubici usled histereza-

Između domena postoji neka vrsta sile trenja. Zakretanja domena su praćena pretvaranjem energije magnetnog polja u toplotu. Histerezis feromagnetika izaziva gubitke u naizmeničnom polju.

Mag.materijal je u saturaciji.
Domeni su orijentisani u pravcu stranog magnetnog polja.

Kada strano magnetno polje opadne na nulu feromagnetik zadržava značajnu vrednost indukcije.

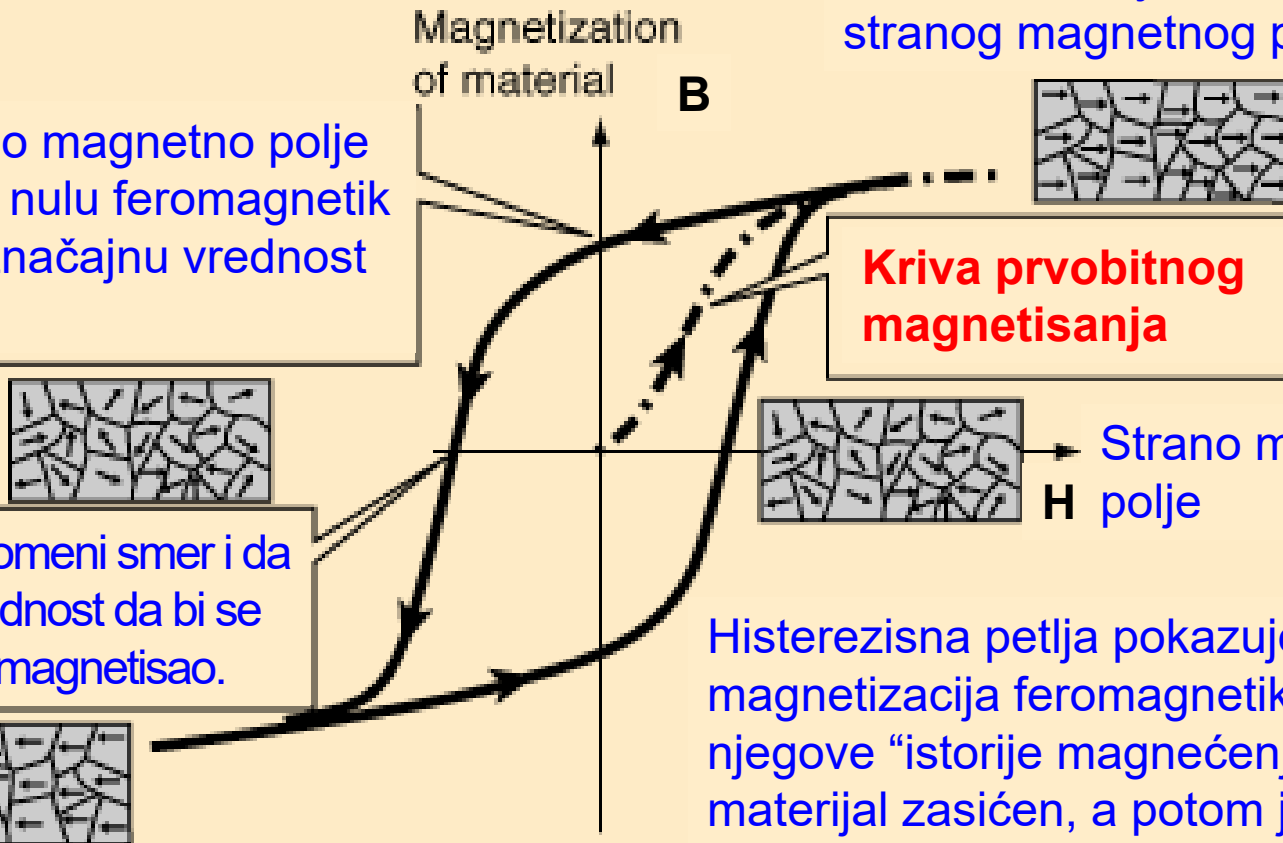
Kriva prvobitnog magnetisanja

Polje mora da promeni smer i da ima značajnu vrednost da bi se feromagnetik razmagnetisao.

Strano magnetno polje H

Zasićenje u suprotnom smeru.

Histerezisna petlja pokazuje da magnetizacija feromagnetika zavisi od njegove "istorije magnećenja". Ako je materijal zasićen, a potom je strano magnetno polje opalo na nulu ostaće remanentna indukcija jer feromagnetik pamti svoju "istoriju magnećenja".



-Gubici usled histereza-

Gustina energije utrošena u toku jednog histerezisnog ciklusa srazmerna je površini histerezisne petlje. Snage histerezisnih gubitaka

$$P_h = f \times (\text{površina histerezisne petlje}) \times V_{Fe} [\text{W}]$$

U praksi se gubici usled histereza računaju približnom formulom

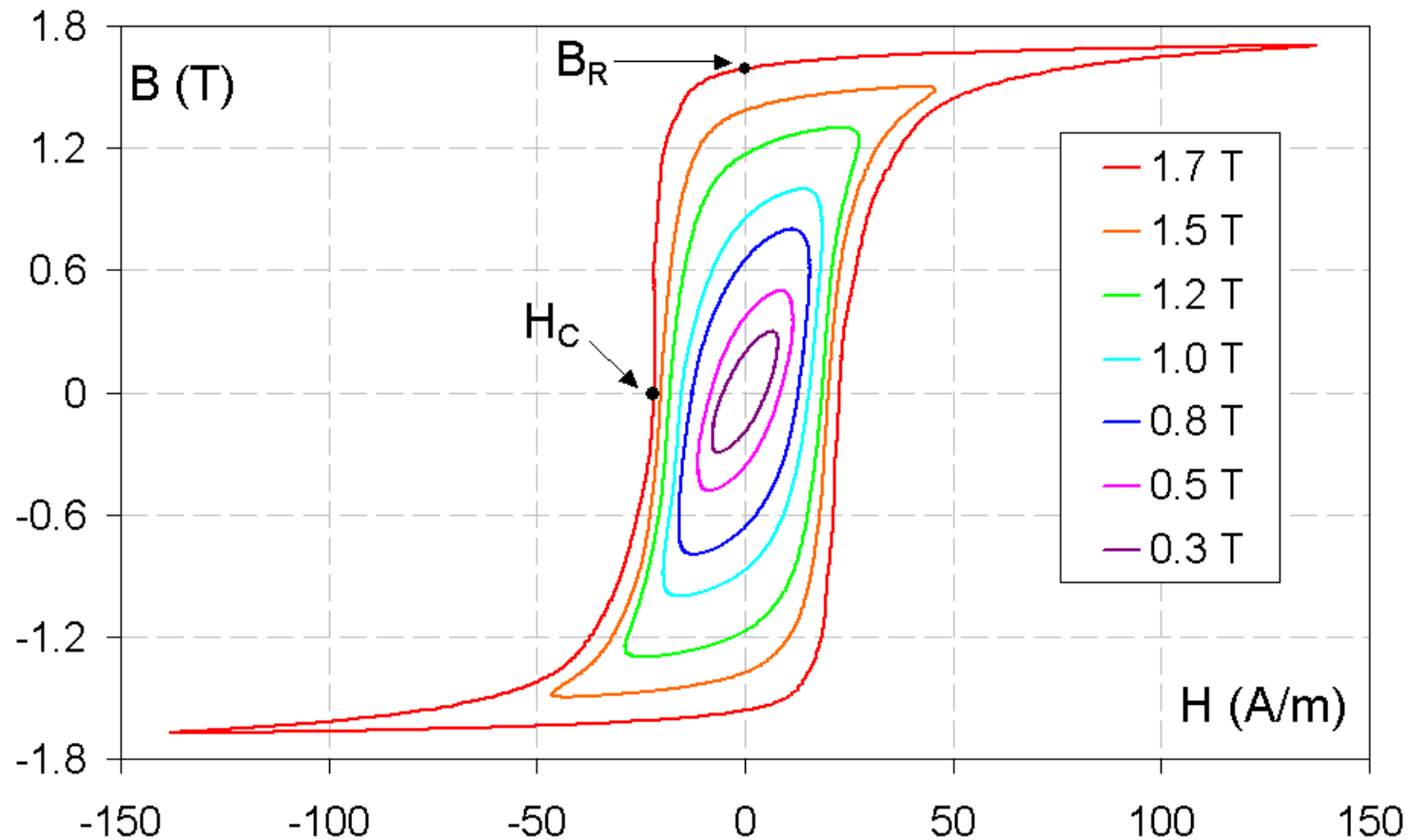
Štajnecov obrazac:

$$P_h = m_{Fe} \cdot \eta \cdot f \cdot B_m^x [\text{W}]; \quad x \in (1,5 \div 2,5)$$

Kada je indukcija bliska indukciji zasićenja (što jeste kod električnih mašina) $x=2$.

Gubici usled histereza smanjuju su upotrebom materijala sa užom histerezisnom petljom – magnetno meki materijali.

HISTEREZIS



Familija histerezisnih petlji koje odgovaraju različitim vrednostima H_m su “slične”, sinusna promene polja. **Statička** (spore promene H), **dinamička** (brze promene H) histerezisna petlja. Kriva **normalnog magnetisanja** spaja vrhove histerezisnih petlji.

GUBICI U GVOŽĐU.

$$P_{Fe} = P_{vs} + P_{his} = m_{Fe} \cdot (p_{vs} + p_h)$$

$$p_{vs} = k_{vs} \cdot d^2 \cdot f^2 \cdot B^2; \quad p_{his} = \eta \cdot f \cdot B^x; x \in (1,5 \div 2,5)$$

Lim je okarakterisan uz krivu magnećenja i sa:

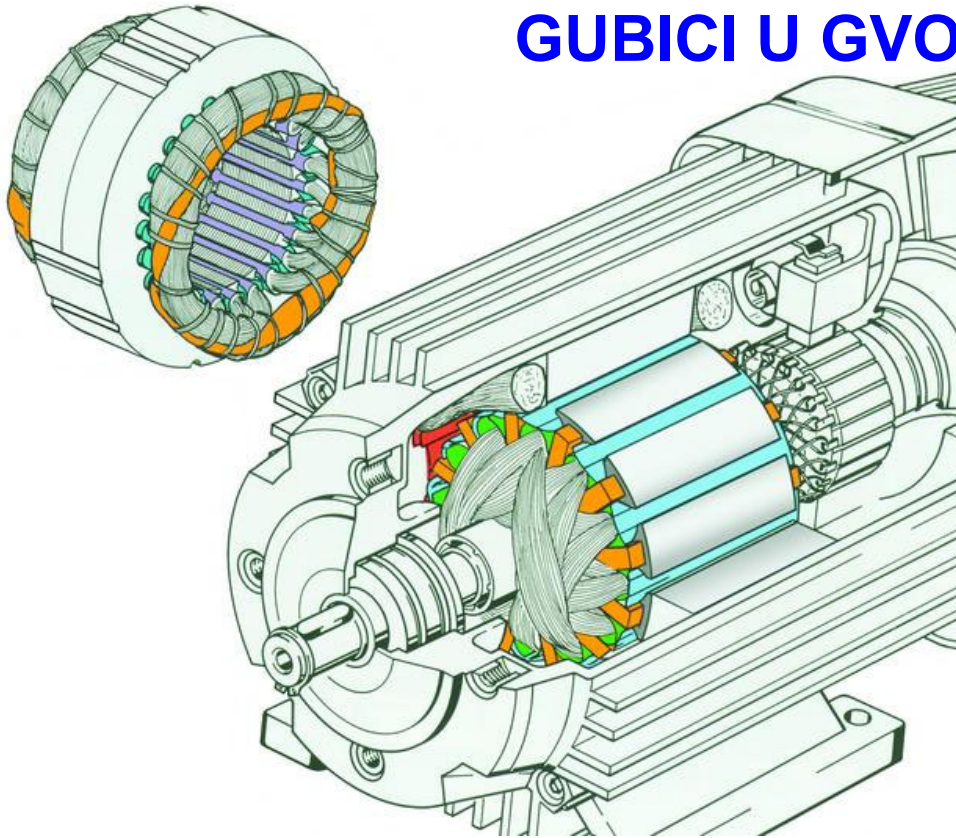
Ukupnim gubicima u gvožđu pri B=1T i 50Hz i debljini d : P_{Fe}

Odnosima:

$$p_{vs} = \frac{P_{vs}}{P_{Fe}} \qquad p_{his} = \frac{P_{his}}{P_{Fe}}$$

Gubici usled histerezisa su nekoliko puta veći od gubitaka usled vrtložnih struja (izuzimajući hipersil).

GUBICI U GVOŽĐU.



Feromagnetno jezgro u kome je fluks naizmeničan napravljen je od međusobom izolovanih limova debljine 0,5mm ili manje. U delovima magnetnog kola gde fluks nije naizmeničan magnetno kolo može biti od jednog komada materijala.



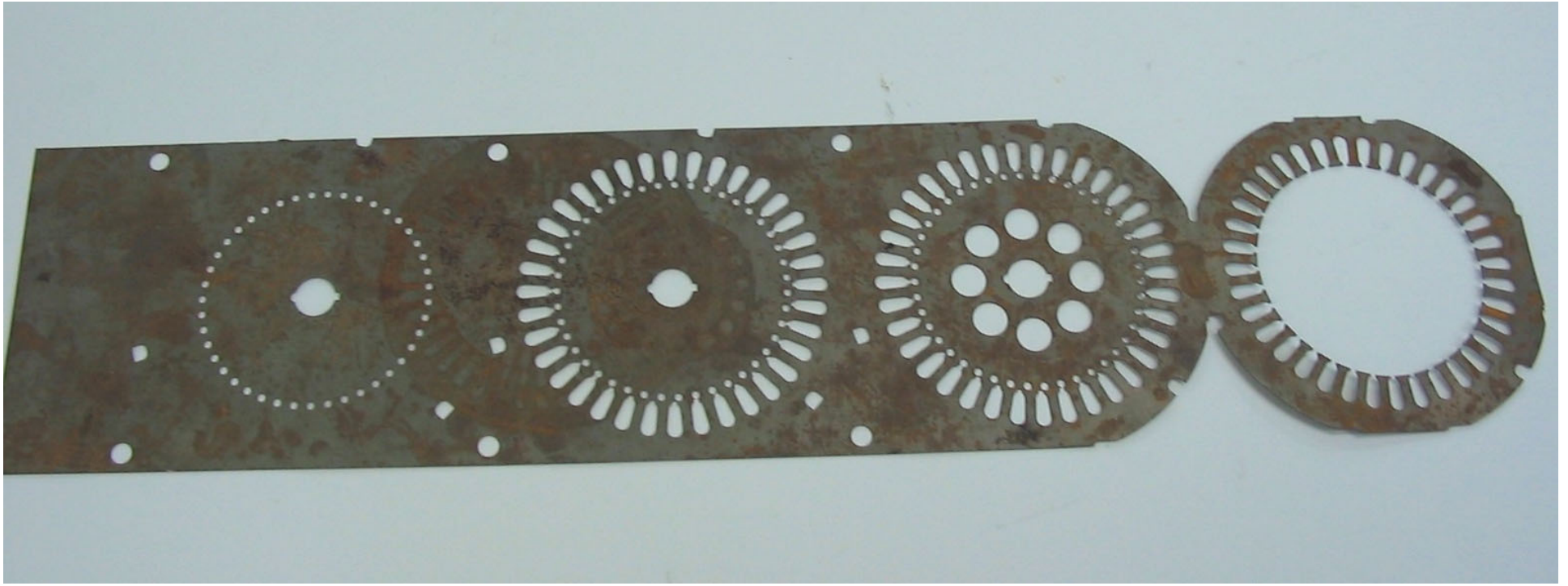
*Transformando energia
em soluções*



Jan 05

Qualidade: M400 – 50A, isolada, EN10106
Perdas: 4 W/kg, 1.5T (1.7 W/kg, 1T)

Tipo : BF6 450 - 2 polos
Média tensão 6600V
Tamanho IEC : 450
Potência : 560 até 800 kW



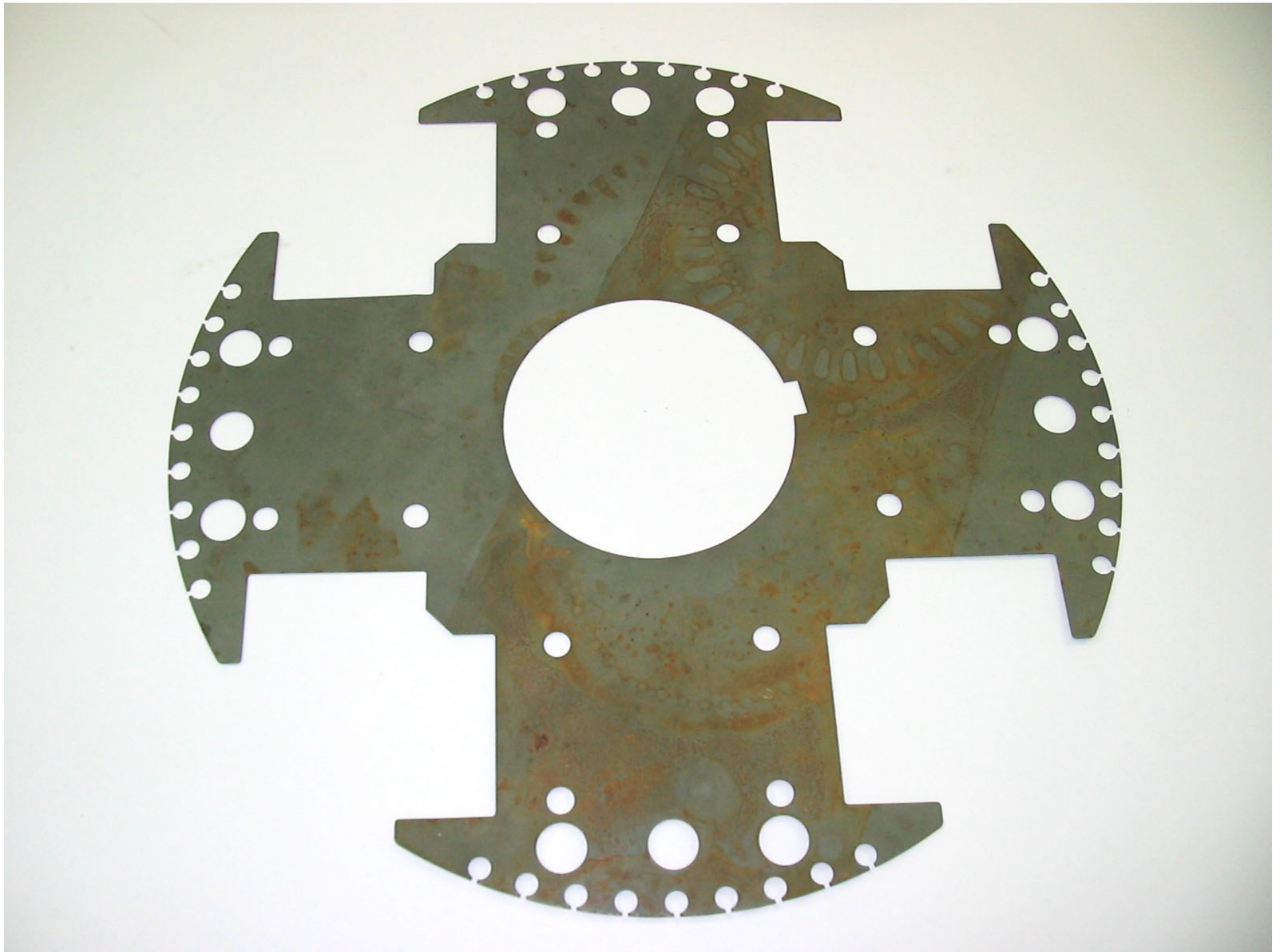
Magnetno kolo se dobija štancovanjem limova ne presi i vezivanjem limova u pakete.

Proizvođači feromagnetni deo izrađuju od limova bez obzira da li je fluks naizmeničan ili ne. Na taj način postižu unifikaciju u proizvodnji i uštedu u materijalu.

Jedino se rotor sinhronih turbogenerators ne izrađuje od limova zbog velikog mehaničkog naprezanja kome je izložen zbog velike brzine.



**Slaganje limova magnetnog kola statora sinhronog hidrogenatora.
Magnetno kolo većih mašina izrađuje se od segmenata.**



PRIKAZ GUBITAKA U GVOŽĐU MAŠINE

