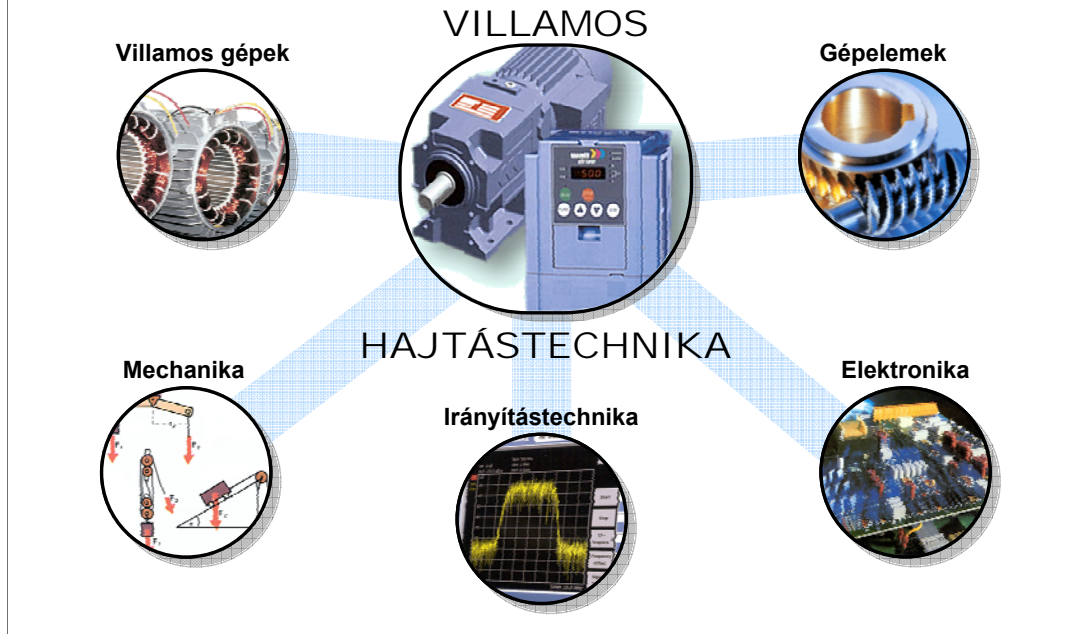


# 1. BEVEZETÉS

## 1.1 Villamos hajtások témaköre

Villamos hajtások ⇒ KOMPLEX ISMERETANYAG



## 1. BEVEZETÉS

### 1.1 Villamos hajtások témaköre

Villamos hajtások ⇒ KOMPLEX ISMERETANYAG

VILLAMOS



HAJTÁSTECHNIKA

#### Feladat:

- villamos motorok és munkagépek kapcsolatának üzemtani kérdéseinek vizsgálata;
- villamos forgógépekre érvényes előírások, szabványok megismerése.

#### Cél:

Adott hajtási feladat megoldására  
**KOMPLEX**  
módon kiválasztani  
a legmegfelelőbb motort.

# 1. BEVEZETÉS

## 1.2 Alapegyenletek és mértékegységrendszerek

Haladó mozgás			Forgó mozgás		
Megnevezés	Összefüggés	SI dimenzió	Megnevezés	Összefüggés	SI dimenzió
Sebesség	$v = \frac{ds}{dt}; v = \frac{s}{t}$	$\frac{m}{s}$	Szögsebesség	$\omega = \frac{d\varphi}{dt}; \omega = \frac{\varphi}{t}$	$\frac{rad}{s}$
–	–	–	Kerületi sebesség	$v = r\omega$	$\frac{m}{s}$
Út	$s = v \cdot t$	m	Szögelfordulás	$\varphi = \omega t = 2\pi n t$	rad
Gyorsulás	$a = \frac{dv}{dt}; a = \frac{v}{t}$	$\frac{m}{s^2}$	Szöggyorsulás	$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt}; \varepsilon = \frac{\omega}{t}$	$\frac{rad}{s^2}$
Mechanikai teljesítmény	$P_m = Fv = F \frac{ds}{dt}$ $P_m = \frac{W}{t}$	$\frac{J}{s} = W$ $N \frac{m}{s} = \frac{J}{s} = W$	Mechanikai teljesítmény	$P_m = M\omega = M \frac{d\varphi}{dt}$ $P_m = \frac{W}{t}$	$kg m^2 \frac{rad}{s^3} = \frac{Nm}{s}$ $\frac{J}{s} = W$
Dinamikai erő	$F_d = m \cdot a = m \frac{dv}{dt}$	$kg \frac{m}{s^2} = N$	Dinamikai nyomaték	$M_d = \Theta \cdot \varepsilon = \Theta \frac{d\omega}{dt}$	$kg m^2 \frac{rad}{s^2} = Nm$
Kinetikai (mozgási) energia	$W_k = \frac{1}{2} m v^2 = \int F_d ds$	$kg \frac{m^2}{s^2} = Nm = J$	Kinetikai (forgási) energia	$W_k = \frac{1}{2} \Theta \omega^2 = \int M_d d\varphi$	$kg m^2 \frac{rad^2}{s^2} = J$
Munka	$W = F \cdot s$	$Nm = J$	Munka	$W = M \cdot \varphi$	$Nm rad = J$

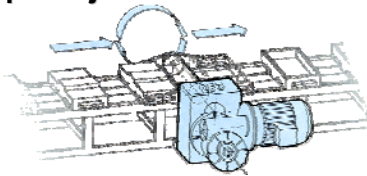
Analógia a mennyiségek között:

$$F_d \leftrightarrow M_d \quad m \leftrightarrow \Theta \quad s \leftrightarrow \varphi \quad v \leftrightarrow \omega \quad a \leftrightarrow \varepsilon$$

## 2. A VILLAMOS HAJTÁSOK KINETIKÁJA

### 2.1 Az áttételek szerepe és jellemzői

Áttételek (hajtóművek):



• alkalmazásuk oka  $\Rightarrow$  a munkagépek által megkívánt fordulatszámok eltérnek a villanymotorok gazdaságos fordulatszám tartományától (750...1500f/min)

• módosítják a forgómozgás jellemzőit ( $\omega$ ; M)

ÁTTÉTELI VISZONY (a):

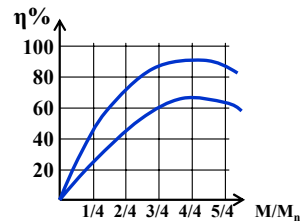
a motortól kiindulva a motorhoz közelebb eső szögsebességet viszonyítjuk az utána következőhöz.

$$a = \omega_M / \omega_T$$

- lassító áttétel:  $a > 1$
- gyorsító áttétel:  $a < 1$

• az átalakítás veszteséggel jár  $\Rightarrow$  hő  $\Rightarrow$

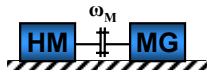
HATÁSFOK  $\Rightarrow$



## 2. A VILLAMOS HAJTÁSOK KINETIKÁJA

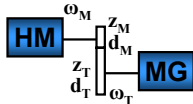
### 2.1 Az áttételek szerepe és jellemzői

Kinetikailag merev tengelykapcsoló



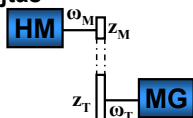
$$a = \frac{\omega_M}{\omega_T} = 1 \quad (\omega_M = \omega_T)$$

Fogaskerék, dörzskerékpár



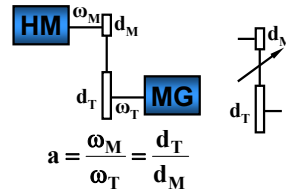
$$a = \frac{\omega_M}{\omega_T} = \frac{z_T}{z_M} = \frac{d_T}{d_M}$$

Lánchajtás



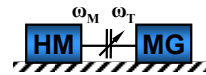
$$a = \frac{\omega_M}{\omega_T} = \frac{z_T}{z_M}$$

Szíz, ékszíz (esetleg változtatható futási átmérővel)



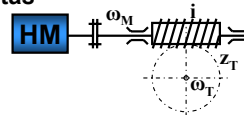
$$a = \frac{\omega_M}{\omega_T} = \frac{d_T}{d_M}$$

Változtatható csúszású tengelykapcsoló



$$a = \frac{\omega_M}{\omega_T} = 1 \dots \infty \quad (\omega_M \geq \omega_T)$$

Csigahajtás

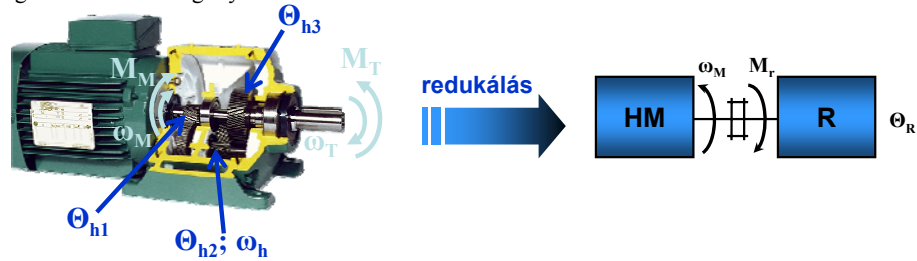


$$a = \frac{\omega_M}{\omega_T} = \frac{z_T}{i}$$

## 2. A VILLAMOS HAJTÁSOK KINETIKÁJA

### 2.2 A hajtás jellemzőinek átszámítása a motorra

A villamos motor kiválasztásához ismerni kell a tengelyein ( $\omega_M$  szinten) a terhelés által okozott forgó- és tehetetlenségi nyomaték hatásokat.



#### Átszámítási szabályok:

A redukált rendszer paramétereinek a motor oldalról vizsgálva minden szempontból meg kell feleljenek az eredeti rendszernek.

#### Alapegyenletek:

Forgó mozgás	Haladó mozgás
$P_{\text{mech}} = M\omega$	$P_{\text{mech}} = Gv$
$M_{\text{din}} = \Theta \frac{d\omega}{dt}$	$F_{\text{din}} = ma$
$W_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \Theta \omega^2$	$W_{\text{kin}} = \frac{1}{2} mv^2$

1. Nyomatékokat (erőket) a teljesítmény változatlansága alapján számítjuk ki.

2. Tehetlenségi nyomatékokat (tömegeket) a kinetikai (mozgási) energia változatlansága alapján számítjuk át.

## 2. A VILLAMOS HAJTÁSOK KINETIKÁJA

### 2.2 A hajtás jellemzőinek átszámítása motorra

#### 2.2.1 Átszámítás forgó mozgásról forgóra



#### A. Nyomaték átszámítása

##### Ideális áttételeknél ( $\eta = 1$ )

$$P_m = M \cdot \omega = \text{áll.} \Rightarrow M_R \cdot \omega_M = M_T \cdot \omega_T$$

$$M_R = \frac{M_T \cdot \omega_T}{\omega_M}$$

$$M_R = \frac{M_T}{a}$$

##### Többfokozatú áttételek alkalmazása esetén

$$M_r^\uparrow = \frac{M_T}{a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdots \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdots} = \frac{M_T}{a_e \cdot \eta_e}$$

##### Veszteséges áttételeknél ( $\eta < 1$ )

##### • Motor hajt:

$$P_m = M \cdot \omega = \text{áll.} \Rightarrow M_r^\uparrow \cdot \omega_M > M_T \cdot \omega_T$$

$$\eta \cdot M_r^\uparrow \cdot \omega_M = M_T \cdot \omega_T$$

$$M_r^\uparrow = \frac{M_T}{a \cdot \eta}$$

##### • Motor fékez:

$$P_m = M \cdot \omega = \text{áll.} \Rightarrow M_r^\downarrow \cdot \omega_M < M_T \cdot \omega_T$$

$$M_r^\downarrow \cdot \omega_M = M_T \cdot \omega_T \cdot \eta$$

$$M_r^\downarrow = \frac{M_T \cdot \eta}{a}$$

$$M_r^\downarrow = \frac{M_T \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdots}{a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdots} = \frac{M_T \cdot \eta_e}{a_e}$$

## 2. A VILLAMOS HAJTÁSOK KINETIKÁJA

### 2.2 A hajtás jellemzőinek átszámítása motorra

#### 2.2.1 Átszámítás forgó mozgásról forgóra



#### B. Tehetlenségi nyomaték átszámítása

##### Ideális áttételeknél ( $\eta = 1$ )

$$W_{\text{kin}} = \text{áll.} \Rightarrow \frac{1}{2} \Theta_R \cdot \omega_M^2 = \frac{1}{2} \Theta_T \cdot \omega_T^2$$

$$\Theta_R = \frac{\Theta_T \cdot \omega_T^2}{\omega_M^2}$$

$$\Theta_R = \frac{\Theta_T}{a^2}$$

##### Veszteséges áttételeknél ( $\eta < 1$ )

• Motor hajt:

$$W_{\text{kin}} = \text{áll.} \Rightarrow \frac{1}{2} \Theta_R^{\uparrow} \cdot \omega_M^2 > \frac{1}{2} \Theta_T \cdot \omega_T^2$$

$$\eta \cdot \Theta_R^{\uparrow} \cdot \omega_M^2 = \Theta_T \cdot \omega_T^2$$

$$\Theta_R^{\uparrow} = \frac{\Theta_T}{a^2 \cdot \eta}$$

• Motor fékez:

$$W_{\text{kin}} = \text{áll.} \Rightarrow \frac{1}{2} \Theta_R^{\downarrow} \cdot \omega_M^2 < \frac{1}{2} \Theta_T \cdot \omega_T^2$$

$$\Theta_R^{\downarrow} \cdot \omega_M^2 = \Theta_T \cdot \omega_T^2 \cdot \eta$$

$$\Theta_R^{\downarrow} = \frac{\Theta_T}{a^2} \cdot \eta$$

##### Többfokozatú áttételek esetén

Pl. hajtás esetén:

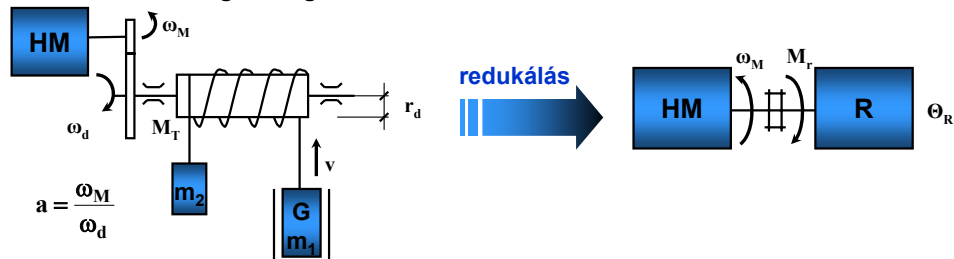
$$\Theta_r^{\uparrow} = \Theta_M + \frac{\Theta_1}{a_1^2 \cdot \eta_1} + \frac{\Theta_2}{a_1^2 \cdot a_2^2 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2} + \dots + \frac{\Theta_n}{a_1^2 \cdot \dots \cdot a_n^2 \cdot \eta_1 \cdot \dots \cdot \eta_n}$$



## 2. A VILLAMOS HAJTÁSOK KINETIKÁJA

### 2.2 A hajtás jellemzőinek átszámítása motorra

#### 2.2.2 Átszámítás forgó mozgásról haladóra



#### A. A terhelőerőnek megfelelő redukált nyomaték számítása

Ideális esetben

$$P_m = \text{áll.} \Rightarrow M_R \cdot \omega_M = G \cdot v$$

$$M_R = \frac{G \cdot v}{\omega_M} = G \cdot \rho$$

$$\rho = \frac{v}{\omega_M} = \frac{r_d \cdot \omega_d}{\omega_M} = \frac{r_d}{a}$$

Veszteségek figyelembevételével ( $\eta$ ;  $\mu$ )

$$M_R^\uparrow = \frac{G \cdot v \cdot (1 + \mu)}{\eta \cdot \omega_M} = \frac{G \cdot r_d \cdot (1 + \mu)}{\eta \cdot a}$$

$$M_R^\downarrow = \frac{G \cdot v \cdot (1 - \mu) \cdot \eta}{\omega_M} = \frac{G \cdot r_d \cdot (1 - \mu) \cdot \eta}{a}$$

$m_2$  figyelembevételével:

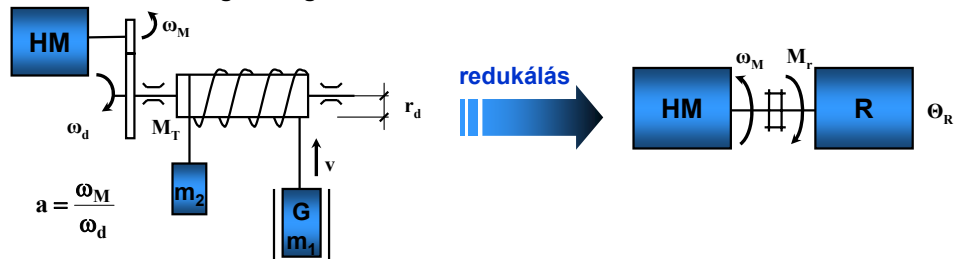
Pl. teher emelésekor:

$$[G_1(1 + \mu) - G_2(1 - \mu)]v = M_r^\uparrow \cdot \omega_M \cdot \eta \Rightarrow M_r^\uparrow = \frac{[G_1(1 + \mu) - G_2(1 - \mu)]v}{\omega_M \cdot \eta}$$

## 2. A VILLAMOS HAJTÁSOK KINETIKÁJA

### 2.2 A hajtás jellemzőinek átszámítása motorra

#### 2.2.2 Átszámítás forgó mozgásról haladóra



#### B. Az m tömegnek megfelelő redukált tehetetlenségi nyomaték számítása

Ideális esetben

$$W_{\text{kin}} = \text{áll.} \Rightarrow \frac{1}{2} \Theta_R \cdot \omega_M^2 = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

$$\Theta_R = \frac{m \cdot v^2}{\omega_M^2} = m \cdot \rho^2$$

$$\Theta_R = \frac{m \cdot r_d^2}{a^2}$$

Veszteségek figyelembevételével ( $\eta$ ;  $\mu$ )

$$\Theta_R^{\uparrow} = \frac{m \cdot r_d^2 \cdot (1 + \mu)}{a^2 \cdot \eta}$$

$$\Theta_R^{\downarrow} = \frac{m \cdot r_d^2 \cdot (1 - \mu)}{a^2} \cdot \eta$$

**$m_2$  figyelembevételével:**

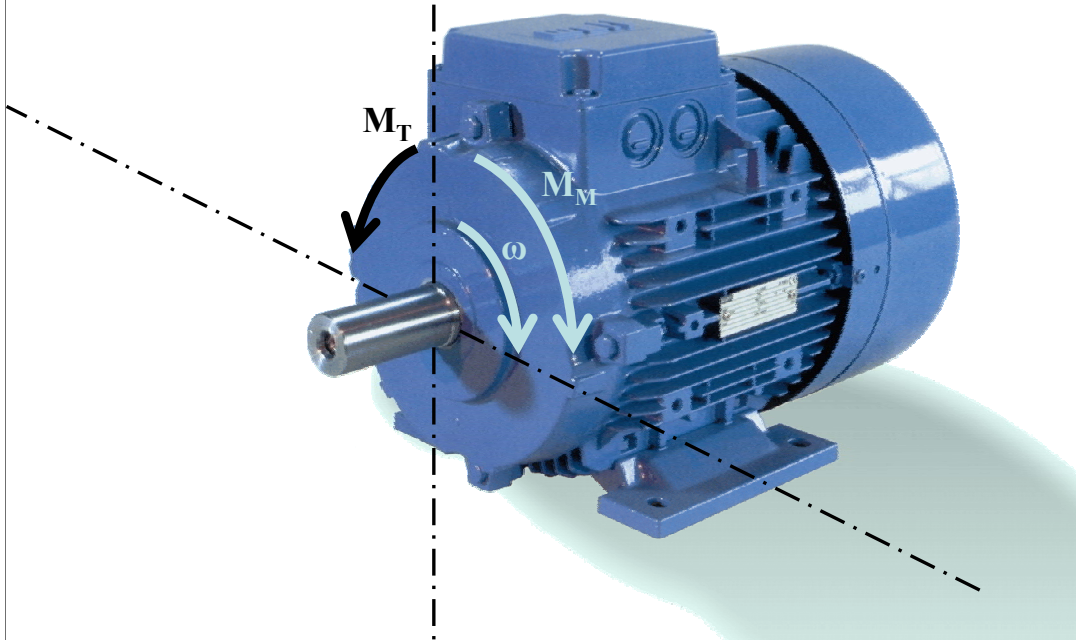
Pl. teher emelésekor:

$$\frac{1}{2} (m_1 + m_2) v^2 \cdot (1 + \mu) = \frac{1}{2} \Theta_r^{\uparrow} \cdot \omega_M^2 \cdot \eta \Rightarrow \Theta_r^{\uparrow} = \frac{(m_1 + m_2) v^2 \cdot (1 + \mu)}{\omega_M^2 \cdot \eta} = \frac{(m_1 + m_2) \cdot r_d^2 \cdot (1 + \mu)}{a^2 \cdot \eta}$$

## 2. A VILLAMOS HAJTÁSOK KINETIKÁJA

### 2.3 Villamos hajtásokban előforduló nyomatékok osztályozása

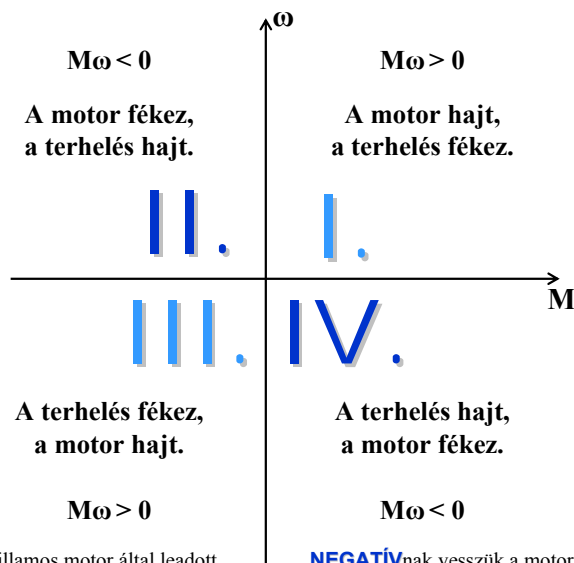
#### 2.3.1 Pozitív vonatkozási irányok



## 2. A VILLAMOS HAJTÁSOK KINETIKÁJA

### 2.3 Villamos hajtásokban előforduló nyomatékok osztályozása

#### 2.3.2 A síknegyedek értelmezése



**POZITÍV**nak tekintjük a villamos motor által leadott, illetve a munkagép által felvett mechanikai teljesítményt (elfogyasztott teljesítmény).

**NEGATÍV**nak vesszük a motor által a tengelyen felvett, illetve a munkagép által leadott mechanikai teljesítményt (termelt teljesítmény).

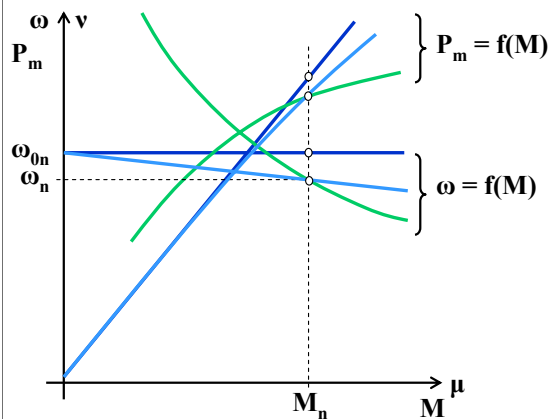
## 2. A VILLAMOS HAJTÁSOK KINETIKÁJA

### 2.3 Villamos hajtásokban előforduló nyomatékok osztályozása

#### 2.3.3 A motorok nyomatékai (mechanikai jelleggörbéi)

A motorok  $\omega = f(M)$  jelleggörbéinek osztályozását az  $m = \frac{d\omega}{dM}$  differenciálhányados viszonylagos értéke ( $m_r$ ) alapján végezhetjük.

$$m_r = \frac{\frac{d\omega}{\omega_n}}{\frac{dM}{M_n}} = \frac{dv}{d\mu}, \text{ ha } M = M_n \Rightarrow m_m$$



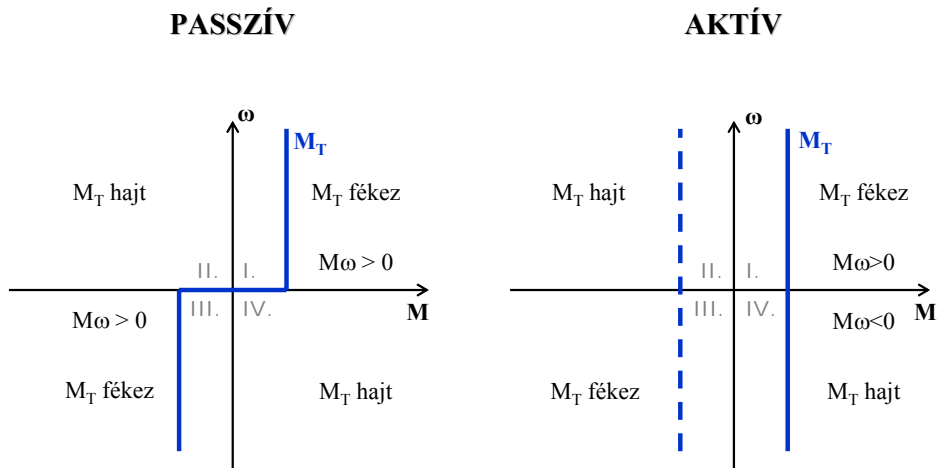
$m_r$	Jelleg	Ide tartozik:
0	szinkron	egyenárammal gerjesztett szinkron motor, permanens mágneses forgórészű szinkron motor, gerjesztetlen forgórészű reluktancia motor
$-(0,02 \dots 0,1)$	sönt	sönt és külső gerjesztésű egyenáramú motor, háromfázisú aszinkron motor $s < s_B$
$-(0,4 \dots 0,5)$	soros	soros gerjesztésű egyenáramú motor, egy- és háromfázisú soros kommutátoros motor, repulziós motor

## 2. A VILLAMOS HAJTÁSOK KINETIKÁJA

### 2.3 Villamos hajtásokban előforduló nyomatékok osztályozása

#### 2.3.4 Terhelőnyomatékok

##### 2.3.4.1 Kinetikai (energetikai) szempontból



## 2. A VILLAMOS HAJTÁSOK KINETIKÁJA

### 2.3 Villamos hajtásokban előforduló nyomatékok osztályozása

#### 2.3.4 Terhelőnyomatékok

##### 2.3.4.2 A hajtás jellemzőitől való függés szerint

###### Folytonos terhelések:

1.  $M_T = f(\omega) \cong \text{áll.}$  Pl.: felvonó, daru, szállítószalag
2.  $M_T = f(\omega)$  függő Pl.: szellőző, centrifugál szivattyú és kompresszor

###### Szakaszosan változó terhelések:

1.  $M_T = f(\alpha)$  Pl.: dugattyús kompresszorok és szivattyúk
2.  $M_T = f(s)$  Pl.: hajlítógépek, exkavátorok, markológépek
3.  $M_T = f(t)$  Pl.: fűrészgép
4.  $M_T = f(v,s)$  Pl.: villamos mozdonyok, targoncák

## 2. A VILLAMOS HAJTÁSOK KINETIKÁJA

### 2.4 A villamos hajtás mozgásegyenlete

#### 2.4.1 A mozgásegyenlet értelmezése

A dinamikai nyomaték:

$$M_d(\omega) = M_M(\omega) - M_T(\omega)$$

- $M_d > 0$ , gyorsító nyomaték,
- $M_d < 0$ , lassító (fékező) nyomaték.

Mozgásegyenlet:

$$M_d = M_M - M_T = \Theta \varepsilon = \Theta \frac{d\omega}{dt}$$

• **Stacionárius** (statikus) **üzemállapot:**

➤ ha  $M_d = 0 \rightarrow \Theta \frac{d\omega}{dt} = 0 \Rightarrow \omega = \text{áll.}$

• **Átmeneti** (tranziens v. dinamikus) **üzemállapot:**

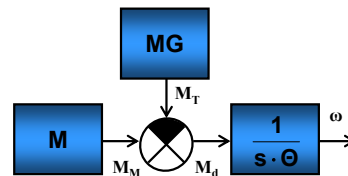
➤ ha  $M_d \neq 0 \rightarrow \Theta \frac{d\omega}{dt} \neq 0 \Rightarrow \omega$  változik (nö v. csökken)

**Villamos hajtás hatásvázlata**

Laplace-transzformáció felhasználásával:

$$M_d(s) = M_M(s) - M_T(s) = s \cdot \Theta \cdot \omega(s)$$

$$\omega(s) = \frac{M_M(s) - M_T(s)}{s \cdot \Theta}$$

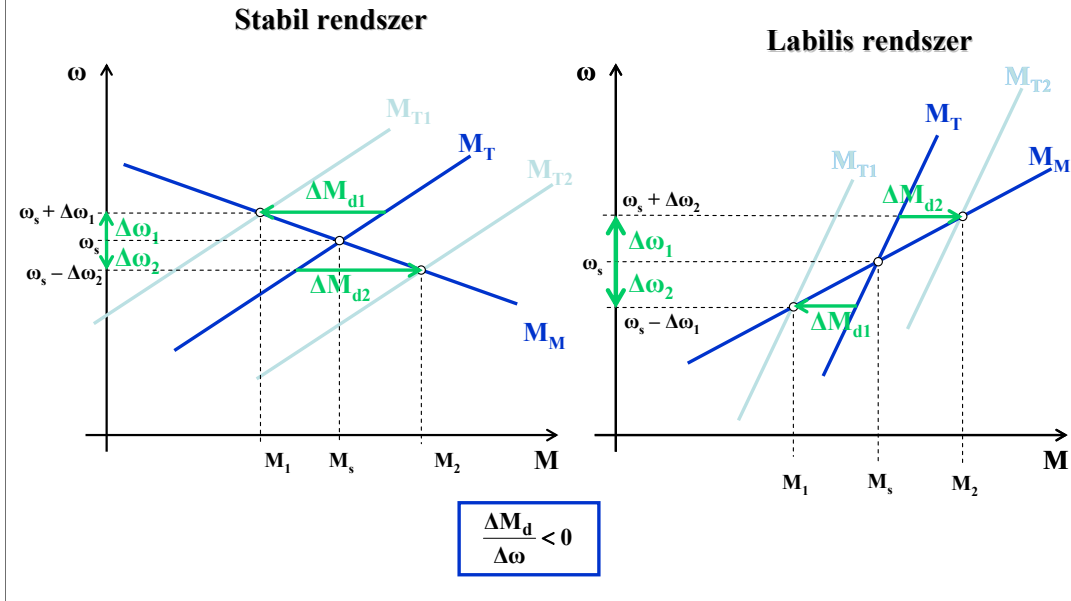




## 2. A VILLAMOS HAJTÁSOK KINETIKÁJA

### 2.4 A villamos hajtás mozgásegyenlete

#### 2.4.2 A stabilitás általános feltétele



## 2. A VILLAMOS HAJTÁSOK KINETIKÁJA

### 2.5 Szögsebesség-idő függvény meghatározása

Mozgásegyenlet:  $M_d = M_M - M_T = \Theta \frac{d\omega}{dt}$

Feltétel:

- $M_d$  csak  $\omega$  függvénye
- $\Theta =$  állandó



Megoldás:  
változók  
szétválasztása

$$dt = \frac{\Theta}{M_d(\omega)} d\omega = \frac{\Theta}{M_M(\omega) - M_T(\omega)} d\omega$$

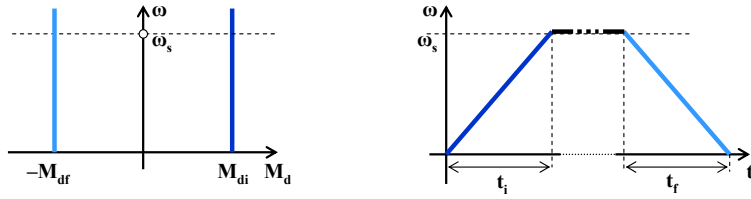
Differenciálegyenlet megoldását  $M_d = f(\omega)$  befolyásolja:

1.  $M_d = f(\omega) =$  állandó
2.  $M_d = f(\omega) =$  lineáris
3.  $M_d = f(\omega) =$  tetszőleges

## 2. A VILLAMOS HAJTÁSOK KINETIKÁJA

### 2.5 Szögsebesség-idő függvény meghatározása

#### 2.5.1 $M_d = f(\omega) = \text{állandó esetén}$



A változók szétválasztásával kapott differenciál egyenlet:  $dt = \frac{\Theta}{M_d} d\omega$

Integrál változó idő- és szögsebesség koordinátákkal:

$$\int_0^t dt = \frac{\Theta}{M_d} \int_0^{\omega} d\omega \quad \Rightarrow \quad t = \frac{\Theta}{M_d} \omega \quad \Rightarrow \quad \omega = f(t) = \frac{\Theta}{M_d} t$$

Mozgásállapot változáshoz szükséges időtartam:

$$\int_{t_1}^{t_2} dt = \frac{\Theta}{M_d} \int_{\omega_1}^{\omega_2} d\omega \quad \Rightarrow \quad t_2 - t_1 = t_{12} = \frac{\Theta}{M_d} [\omega]_{\omega_1}^{\omega_2} \quad \Rightarrow \quad t_{12} = \frac{\Theta}{M_d} (\omega_2 - \omega_1)$$

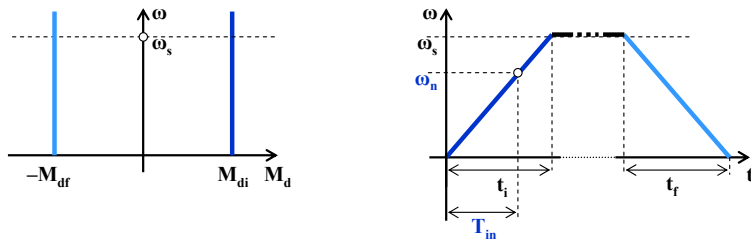
Indítási-, fékezési idők:

$$\text{pl. } \begin{array}{l} t_1 = 0; \quad \omega_1 = 0; \\ t_2 = t_i; \quad \omega_2 = \omega_s; \end{array} \quad \Rightarrow \quad t_i = \frac{\Theta \omega_s}{M_d}$$

## 2. A VILLAMOS HAJTÁSOK KINETIKÁJA

### 2.5 Szögsebesség-idő függvény meghatározása

#### 2.5.1 $M_d = f(\omega) = \text{állandó}$ esetén



#### NÉVLEGES INDÍTÁSI IDŐ ( $T_{in}$ )

$T_{in}$  azt az időt jelenti, amely alatt az állandónak feltételezett  $M_d = M_n$  névleges nyomaték a hajtást (a motort vagy a motort és a vele kapcsolt tömegeket)  $\omega_1 = 0$  álló állapotból  $\omega_2 = \omega_n$  névleges szögsebességre gyorsítja.

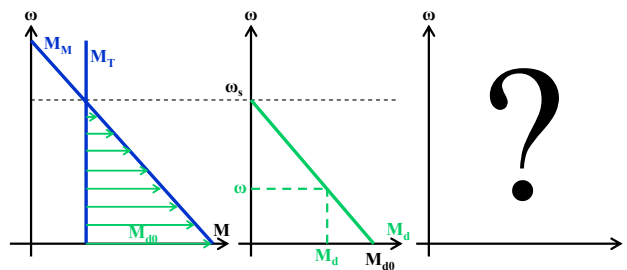
$$T_{in} = \frac{\Theta \omega_n}{M_d}$$

## 2. A VILLAMOS HAJTÁSOK KINETIKÁJA

### 2.5 Szögsebesség-idő függvény meghatározása

#### 2.5.2 $M_d = f(\omega) = -a\omega + b$ alakú lineáris függvény esetén

A. Indítás



$M_d = f(\omega)$  függvény származtatása:

$$\frac{M_d}{M_{d0}} = \frac{\omega_s - \omega}{\omega_s} \Rightarrow M_d = M_{d0} \frac{\omega_s - \omega}{\omega_s}$$

A mozgásegyenlet megoldása:

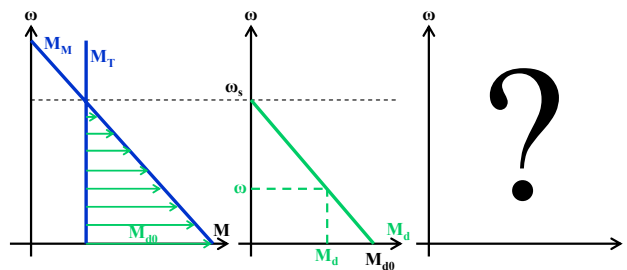
$$M_d = \Theta \frac{d\omega}{dt} \Rightarrow dt = \frac{\Theta}{M_d} d\omega = \frac{\Theta \cdot \omega_s}{M_{d0} (\omega_s - \omega)} d\omega = \boxed{T_m \frac{d\omega}{\omega_s - \omega}}$$

## 2. A VILLAMOS HAJTÁSOK KINETIKÁJA

### 2.5 Szögsebesség-idő függvény meghatározása

#### 2.5.2 $M_d = f(\omega) = -a\omega + b$ alakú lineáris függvény esetén

A. Indítás



#### ELEKTROMECHANIKAI IDŐÁLLANDÓ ( $T_m$ )

$$T_m = \Theta \frac{\omega_s}{M_{d0}}$$

Az a fiktív indítási idő, amely alatt a hajtás elérné állandósult szögsebességét  $M_{d0} = \text{állandó}$  esetén.

$M_d = f(\omega)$  függvény meredeksége:  $\frac{\omega_s}{M_{d0}} = -m = -\frac{d\omega}{dM_d}$

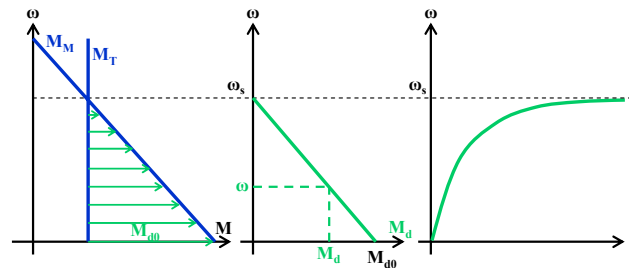
Így:  $T_m = -m \cdot \Theta = -\Theta \frac{d\omega}{dM_d}$

## 2. A VILLAMOS HAJTÁSOK KINETIKÁJA

### 2.5 Szögsebesség-idő függvény meghatározása

#### 2.5.2 $M_d = f(\omega) = -a\omega + b$ alakú lineáris függvény esetén

##### A. Indítás



Határozatlan integrál számítása:

$$\int_0^t dt = T_m \int_0^{\omega} \frac{d\omega}{\omega_s - \omega} = T_m \int_0^{\omega} -\frac{1}{\omega_s - \omega} d\omega \Rightarrow t = T_m [-\ln(\omega_s - \omega)]_0^{\omega} =$$

$$= T_m [-\ln(\omega_s - \omega) + \ln \omega_s] = T_m \ln \frac{\omega_s}{\omega_s - \omega}$$

$\omega(t)$  függvény meghatározása:

$$t = T_m \cdot \ln \frac{\omega_s}{\omega_s - \omega} \Rightarrow -\frac{t}{T_m} = \ln \frac{\omega_s - \omega}{\omega_s} \Rightarrow e^{-\frac{t}{T_m}} = \frac{\omega_s - \omega}{\omega_s} \Rightarrow \omega = \omega_s \left( 1 - e^{-\frac{t}{T_m}} \right)$$

## 2. A VILLAMOS HAJTÁSOK KINETIKÁJA

### 2.5 Szögsebesség-idő függvény meghatározása

#### 2.5.2 $M_d = f(\omega) = -a\omega + b$ alakú lineáris függvény esetén

##### A. Indítás

$\omega(t) = \omega_s \left( 1 - e^{-\frac{t}{T_m}} \right)$  függvény kiértékelése:

• Az érintő meredeksége  $t = 0$  pontban:

$$\left[ \frac{d\omega}{dt} \right]_{t=0} = \left[ -\omega_s e^{-t/T_m} \cdot \left( -\frac{1}{T_m} \right) \right]_{t=0} = \frac{\omega_s}{T_m}$$

• A görbe menete:

$$\left. \begin{array}{l} t = T_m \rightarrow \omega = 0,632 \omega_s \\ t = 4T_m \rightarrow \omega = 0,981 \omega_s \end{array} \right\} \Rightarrow t_i \cong (4 \dots 5) T_m \text{-nél gyakorlatban eléri } \omega_s \text{-t.}$$

•  $\omega_1$ -ről  $\omega_2$ -re gyorsítás ideje ( $t_{12} = t_2 - t_1$ ):

$$\int_{t_1}^{t_2} dt = \int_{\omega_1}^{\omega_2} T_m \frac{d\omega}{\omega_s - \omega} = T_m [-\ln(\omega_s - \omega)]_{\omega_1}^{\omega_2}$$

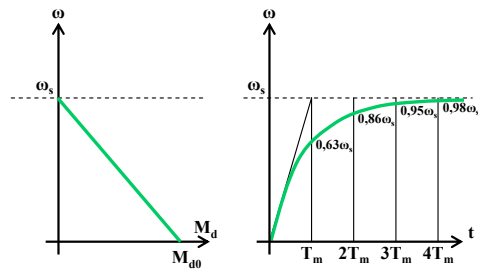
$$t_2 - t_1 = t_{12} = T_m [-\ln(\omega_s - \omega_2) + \ln(\omega_s - \omega_1)] = T_m \cdot \ln \frac{\omega_s - \omega_1}{\omega_s - \omega_2}$$

• Kapcsolat a dinamikai nyomatékkal:

$\omega = f(M_d)$  függvényből:

$$\frac{\omega_s - \omega_1}{M_{d1}} = \frac{\omega_s - \omega_2}{M_{d2}} \Rightarrow \frac{\omega_s - \omega_1}{\omega_s - \omega_2} = \frac{M_{d1}}{M_{d2}}$$

$$t_{12} = T_m \cdot \ln \frac{\omega_s - \omega_1}{\omega_s - \omega_2} = T_m \cdot \ln \frac{M_{d1}}{M_{d2}}$$





## 2. A VILLAMOS HAJTÁSOK KINETIKÁJA

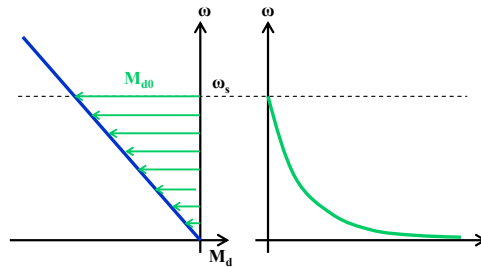
### 2.5 Szögsebesség-idő függvény meghatározása

#### 2.5.2 $M_d = f(\omega) = -a\omega + b$ alakú lineáris függvény esetén

##### B. Fékezés

$M_d = f(\omega)$  függvény származtatása:

$$M_d = \frac{-M_{d0}}{\omega_s} \omega$$



A mozgásegyenlet megoldása:

$$M_d = \Theta \frac{d\omega}{dt} \Rightarrow dt = \frac{\Theta}{M_d} d\omega = -\frac{\Theta \cdot \omega_s}{M_{d0} \cdot \omega} d\omega = -T_m \frac{d\omega}{\omega}$$

Határozatlan integrál számítása:

$$\int_0^t dt = \int_{\omega_s}^{\omega} -T_m \frac{1}{\omega} d\omega = T_m [-\ln \omega]_{\omega_s}^{\omega} = T_m [-\ln \omega + \ln \omega_s] \Rightarrow t = T_m \cdot \ln \frac{\omega_s}{\omega}$$

$\omega(t)$  függvény meghatározása:

$$t = T_m \cdot \ln \frac{\omega_s}{\omega} \Rightarrow -\frac{t}{T_m} = \ln \frac{\omega}{\omega_s} \Rightarrow e^{-\frac{t}{T_m}} = \frac{\omega}{\omega_s} \Rightarrow \omega = \omega_s \cdot e^{-\frac{t}{T_m}}$$

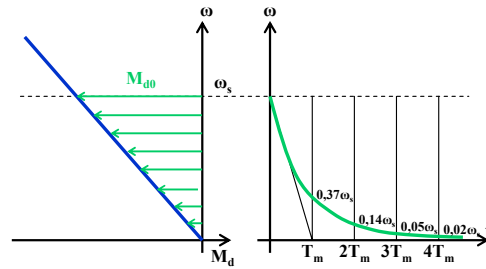
## 2. A VILLAMOS HAJTÁSOK KINETIKÁJA

### 2.5 Szögsebesség-idő függvény meghatározása

#### 2.5.2 $M_d = f(\omega) = -a\omega + b$ alakú lineáris függvény esetén

##### B. Fékezés

$\omega = \omega_s \cdot e^{-t/T_m}$  függvény kiértékelése:



- kezdeti érintő meredeksége:

$$\left[ \frac{d\omega}{dt} \right]_{t=0} = \left[ \omega_s \cdot e^{-\frac{t}{T_m}} \cdot \left( -\frac{1}{T_m} \right) \right]_{t=0} = -\frac{\omega_s}{T_m}$$

- görbe menete:

$$\left. \begin{array}{l} t = T_m \rightarrow \omega = 0,37 \omega_s \\ t = 4T_m \rightarrow \omega = 0,02 \omega_s \end{array} \right\} \Rightarrow t_i \cong (4 \dots 5) T_m \text{-nél gyakorlatban eléri } 0\text{-t.}$$

## 2. A VILLAMOS HAJTÁSOK KINETIKÁJA

### 2.5 Szögsebesség-idő függvény meghatározása

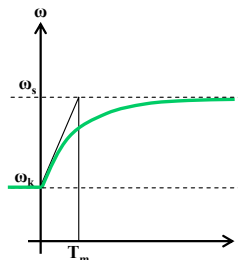
#### 2.5.2 $M_d = f(\omega) = -a\omega + b$ alakú lineáris függvény esetén

##### C. Menetdiagramok általános esetére

Tetszőleges  $\omega_k$  kezdeti szögsebesség esetén:

$$t = T_m \cdot \ln \frac{\omega_s - \omega_k}{\omega_s - \omega} \Rightarrow e^{-\frac{t}{T_m}} = \frac{\omega_s - \omega}{\omega_s - \omega_k}$$

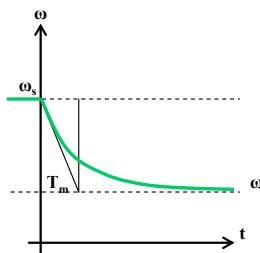
$$\Rightarrow \omega = \omega_s - (\omega_s - \omega_k) e^{-\frac{t}{T_m}}$$



Tetszőleges  $\omega_s$  szögsebességre történő fékezés esetén:

$$t = T_m \cdot \ln \frac{\omega_s - \omega_v}{\omega - \omega_v} \Rightarrow e^{-\frac{t}{T_m}} = \frac{\omega - \omega_v}{\omega_s - \omega_v}$$

$$\Rightarrow \omega = \omega_v + (\omega_s - \omega_v) e^{-\frac{t}{T_m}}$$

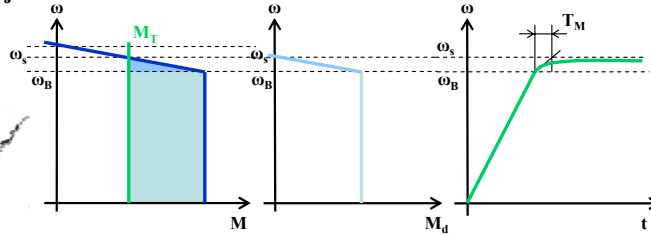
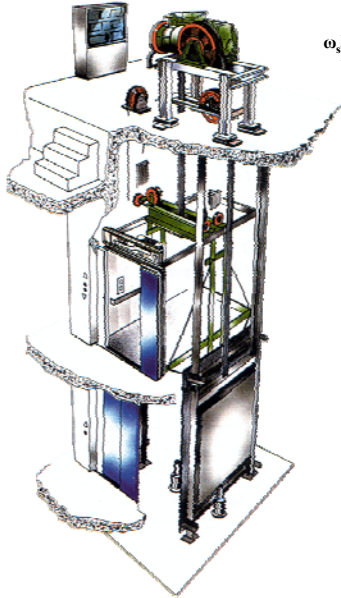


## 2. A VILLAMOS HAJTÁSOK KINETIKÁJA

### 2.5 Szögsebesség-idő függvény meghatározása

#### 2.5.3 $M_d = f(\omega)$ tetszőleges lefolyású függvény esetén

Pl. egységsebességű felvonóhajtás:



$$M_d = f(\omega) = \text{állandó}$$

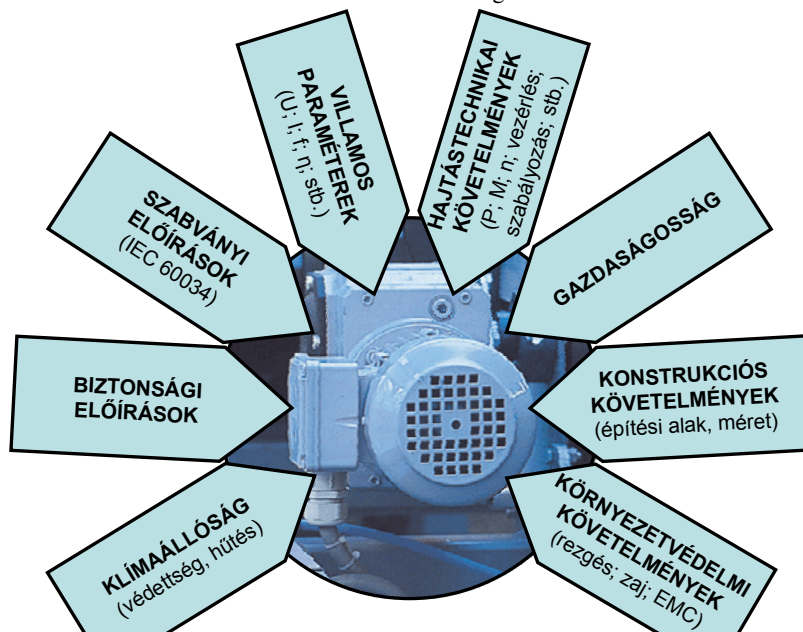
$$\omega = f(t) = \frac{\Theta}{M_d} t$$

$$M_d = f(\omega) = -a\omega + b \text{ alakú}$$

$$\omega = f(t) = \omega_s - (\omega_s - \omega_k) e^{-t/T_m}$$

### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

Azt a motort kell kiválasztani a hajtási feladat megoldására, amely a követelményeket **KOMPLEX** módon elégíti ki.






### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

#### 3.1 Előírások és szabványok

A villamos gépekkel szemben támasztott követelményeket az EGYSGESÍTÉS érdekében nemzetközi és nemzeti szabványok rögzítik.

Szabványosító szervezetek:

<p><b>Worldwide</b></p> 	<p>General Standardization <b>ISO</b> International Standards Organization (<i>Nemzetközi Szabványügyi Szervezet</i>)</p> <p>Technical Committees   Sub-committees   Working Groups</p>	<p>Electronics and Electrotechnical Certification <b>IEC</b> International Electrotechnical Commission (<i>Nemzetközi Elektrotechnikai Bizottság</i>)</p> <p>Technical Committees   Sub-committees   Working Groups</p>
<p><b>Europe</b></p> 	<p><b>ECS / CEN</b> European Committee for Standardization (<i>Európai Szabványosítási Bizottság</i>)</p> <p><b>ECISS</b> European Committee for Iron and Steel Standards</p> <p>Technical Committees</p>	<p><b>CENELEC</b> European Committee for Electrotechnical Standardization (<i>Európai Elektrotechnikai Szabványosítási Bizottság</i>)</p> <p>Technical Committees   Sub-committees   Ad-hoc Groups</p>
<p><b>Magyarország</b></p> 	<p><b>MSZT</b> Magyar Szabványügyi Testület (<i>Hungarian Standard Institution</i>)</p> <p>Magyar Nemzeti Szabványosító Műszaki Bizottságok   Nemzeti Szabványosító Programbizottságok   Nemzeti Szakmai Bizottságok</p>	

### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

#### 3.1 Előírások és szabványok

Villamos gépek és hajtások legfontosabb szabványai:

Hivatkozási szám		Szabványcím
Nemzetközi	Magyar	
IEC 60034-1	MSZ EN 60034-1	Villamos forgógépek. 1. rész: Névleges adatok és üzemi jellemzők.
IEC 34-2	MSZ EN 60034-2	Villamos forgógépek. 2. rész: Villamos forgógépek veszteségeinek és hatásfokának vizsgálatok alapján való meghatározása (a vontatójárművek gépeinek kivételével).
IEC 34-4	MSZ EN 60034-4	Villamos forgógépek. 4. rész: Vizsgálati módszerek szinkrongépek jellemzőinek meghatározására.
IEC 60034-5	MSZ EN 60034-5	Villamos forgógépek. 5. rész: A villamos forgógépek kialakítása által nyújtott védettség fokozatok (IP-kód). Osztályozás.
IEC 34-6	MSZ EN 60034-6	Villamos forgógépek. 6. rész: Hűtési módok (IC-kód).
IEC 34-7	MSZ EN 60034-7	Villamos forgógépek. 7. rész: Az építési alakok, a szerelési helyzetek és a kapcsolószekrény-elhelyezések osztályozása (IM-kód).
IEC 60034-8	MSZ EN 60034-8	Villamos forgógépek. 8. rész: Kapocsjelölések és forgásirány.

### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

#### 3.1 Előírások és szabványok

Villamos gépek és hajtások legfontosabb szabványai:

*(előző oldal folytatása)*

Hivatkozási szám		Szabványcím
Nemzetközi	Magyar	
IEC 60034-9	MSZ EN 60034-9	Villamos forgógépek. 9. rész: Zajhatárértékek.
IEC 60034-11	MSZ EN 60034-11	Villamos forgógépek. 11. rész: Hővédelem.
IEC 60034-12	MSZ EN 60034-12	Villamos forgógépek. 12. rész: Háromfázisú, kalickás forgórészű, egy fordulatszámú indukciós motorok indítási jellemzői.
IEC 34-14	MSZ EN 60034-14	Villamos forgógépek. 14. rész: 56 mm és annál nagyobb tengelymagasságú forgógépek mechanikai rezgéserőssége. Mérés, kiértékelés és határértékek.
IEC 60085	MSZ EN 60085	Villamos szigetelés. Termikus osztályozás.
IEC 27-4	MSZ 21704	Elektrotechnikában használt betűjelek. 4. rész: Villamos forgógépekhez használt mennyiségek jelképei.
IEC 60050-411	MSZ IEC 60050-411	Nemzetközi elektrotechnikai szótár. 411. kötet: Villamos forgógépek.

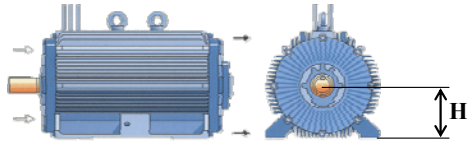


### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

#### 3.2 Építési alak, szerelési helyzetek ⇒ MSZ EN 60034 – 7:2002

##### 3.2.1 Villamos forgógépek építési alakjai

- Talpas, pajzscsapágyas:



A besorolás alapvető jellemzője H (tengelymagasság)

- Peremes:

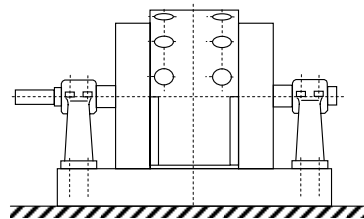


A besorolás alapvető jellemzője M (csatlakozó perem osztókörének átmérője)

Azonos tengelymagasságon belül a ház hosszúsága lehet:

- S (small) – rövid
- M (middle) – közepes
- L (long) – hosszú

- Bakcsapágyas, alaplemez:



### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

#### 3.2 Építési alak, szerelési helyzetek ⇒ MSZ EN 60034 – 7:2002

##### 3.2.2 Villamos forgógépek szerelési helyzetei






A szabvány két osztályozási rendszert határoz meg:

I. KÓD	II. KÓD
Alfanumerikus osztályozás	Tisztán numerikus osztályozás
Pajzscsapágyas, egytengelyű gépekre	A gépek szélesebb sávjára, beleértve az I. KÓD szerintieket is
<p>Vízszintes tengelyű gépek jelölése:</p> <p>International Mounting ↓ Szóköz IM_B □ □ □ □</p> <p>Kódszám v. kódszámok ↑ Kapocsszekrény helyzetét jelölő betű</p> <p>Függőleges tengelyű gépek jelölése:</p> <p>International Mounting ↓ Szóköz IM_V □ □ □ □</p> <p>Kódszám v. kódszámok ↑ Kapocsszekrény helyzetét jelölő betű</p>	<p>Jelölés:</p> <p>International Mounting ↓ Szóköz IM □ □ □ □ □ □</p> <p>Építési alakra vonatkozó kódszám (pl. talpas [1], peremes [3; 4], bakcsapágyas [11]) ↑ ↑ ↑ ↑ ↑</p> <p>Szerelési helyeket jelölő kódszámok ↑ ↑ ↑ ↑ ↑</p> <p>Tengelyvég kialakítását jelölő kódszám (1 v. 2 hengeres tengelyvég [1; 2], 1 v. 2 kúpos tengelyvég [3; 4], 1 v. 2 peremes tengelyvég [5; 6]) ↑ ↑ ↑ ↑ ↑</p> <p>Kapocsszekrény helyzetét jelölő betű ↑</p>

### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

#### 3.2 Építési alak, szerelési helyzetek ⇒ MSZ EN 60034 – 7:2002

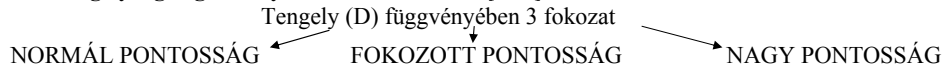
##### 3.2.3 Jelölési példák

I. KÓD		II. KÓD	
	IM B 3	IM 1001	vízszintes tengely, talpas felerősítés, talpfelület alul 
	IM V 5	IM 1011	
	IM V 6	IM 1031	
	IM B 6	IM 1051	
	IM B 7	IM 1061	
	IM B 8	IM 1071	
	IM B 20	IM 1101	
	IM B 15	IM 1201	
 vízszintes tengely, peremes csapágypajzs	IM B 35	IM 2001	
	IM V 15	IM 2011	
	IM V 36	IM 2031	függőleges tengely, peremes csapágypajzs felül 
	IM B 34	IM 2101	
 függőleges tengely, peremes csapágy- pajzs alul	IM B 5	IM 3001	
	IM V 1	IM 3011	
	IM V 21	IM 3051	
	IM V 3	IM 3031	
	IM V 4	IM 3211	vízszintes tengely, peremes csapágy- pajzs, amelyhez nincs hozzáférés a motorház felől 
	IM V 2	IM 3231	
	IM B 14	IM 3601	
	IM V 18	IM 3611	
	IM V 19	IM 3631	
	IM B 10	IM 4001	

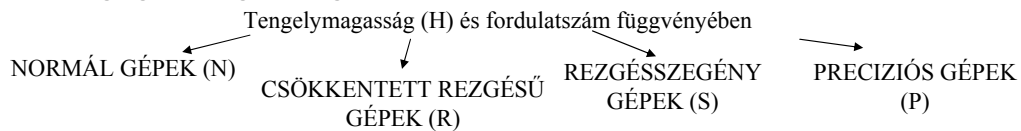
### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

#### 3.3 A villamos forgógépek rezgési és zajszintje

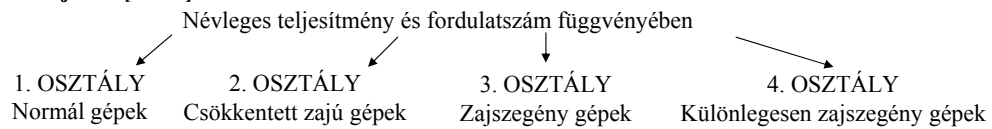
##### A. Tengelyvég sugárirányú ütésének mértéke [mm]



##### B. Megengedett rezgése erősségek [mm/s]



##### C. Zajszint [dB/A]



##### D. „Nyugodt járás”

ha  $n_n \geq 1000$  1/min, akkor  $A^{\mu m} < 50 \cdot 3000/n_n$ , ahol  $n_n$  [1/min];

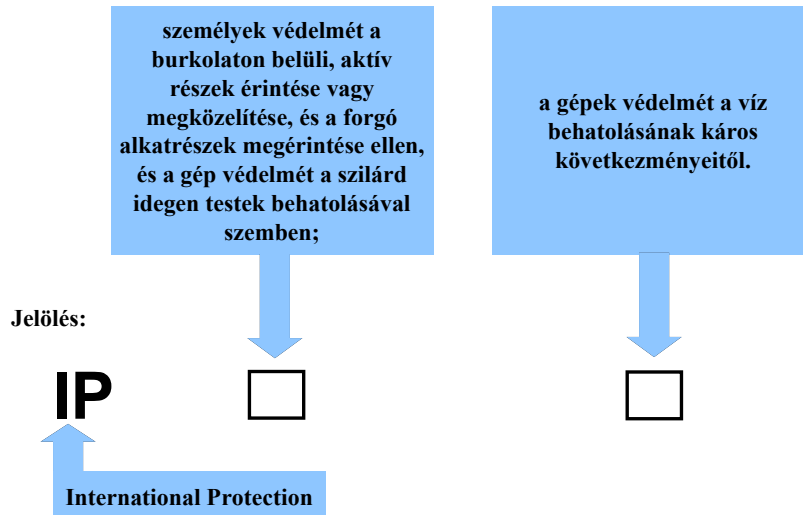
ha  $n_n < 1000$  1/min, akkor  $A^{\mu m} < 150 \mu m$ ;

ahol A a gép csapágyain mért rezgés kétszeres amplitúdója mikronban.

### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

#### 3.4 Villamos forgógépek védettsége ⇒ MSZ EN 60034 – 5

A védettségi fokozatok: aszerint változnak, hogy milyen mértékben valósítják meg:



### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

#### 3.4 Villamos forgógépek védettsége ⇒ MSZ EN 60034 – 5

##### 3.4.1 Az első jellemző számjeggyel jelölt védettségi fokozatok

Az első jellemző számjegy	Védettségi fokozat	
	Rövid leírás	Meghatározás
0	Nem védett gép	Nincs különleges védelem
1	50 mm-nél nagyobb szilárd testek ellen védett gép	Védelem a burkolaton belüli aktív és mozgó részeknek az emberi test nagy felülete által, pl. kézzel való véletlen vagy szándékolatlan érintése vagy megközelítése ellen (de nincs védelem a szándékos behatolás ellen). Védelem az 50 mm-nél nagyobb átmérőjű szilárd testek behatolása ellen.
2	12 mm-nél nagyobb szilárd testek ellen védett gép	Védelem a burkolaton belüli aktív és mozgó részeknek ujjakkal vagy hasonló, 80 mm-nél nem hosszabb tárgyak által történő érintése vagy megközelítése ellen. Védelem a 12 mm-nél nagyobb átmérőjű szilárd testek behatolása ellen.
3	2,5 mm-nél nagyobb szilárd testek ellen védett gép	Védelem a burkolaton belüli aktív és mozgó részeknek a 2,5 mm-nél nem nagyobb átmérőjű szerszámok vagy huzalok által történő érintése vagy megközelítése ellen. Védelem a 2,5 mm-nél nagyobb átmérőjű szilárd testek behatolása ellen.
4	1 mm-nél nagyobb szilárd testek ellen védett gép	Védelem a burkolaton belüli aktív és mozgó részeknek 1 mm-nél vastagabb kör- v. négyzet-keresztmetszetű huzalok általtörténő érintése vagy megközelítése ellen. Védelem az 1 mm-nél nagyobb átmérőjű szilárd testek behatolása ellen.
5	Por ellen védett gép	Védelem a burkolaton belüli aktív és mozgó részek érintése vagy megközelítése ellen. A por behatolása nincs teljesen megakadályozva, de a por nem juthat be olyan mennyiségben, hogy befolyásolná a gép kielégítő működését.
6	Pormentes gép	Teljes mértékű védelem a por behatolásával szembe.

### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

#### 3.4 Villamos forgógépek védettsége ⇒ MSZ EN 60034 – 5















##### 3.4.2 A második jellemző számjeggyel jelölt védettségi fokozatok

A 2. jellemző számjegy	Védettségi fokozat	
	Rövid leírás	Meghatározás
0	Nem védett gép	Nincs különleges védelem
1	Csepegő víz ellen védett gép	A csepegő víznek (független esőcseppek) ne legyen káros hatása
2	Csepegő víz ellen védett gép max. 15°-os dőlésig	A függetlenül csepegő víznek ne legyen káros hatása, ha a gépet bármilyen szögben, maximum 15°-ig megdöntik a normál működési helyzethez képest.
3	Permetező víz ellen védett gép	A független síktól számítva, maximum 60°-os szögig, permet formájában hulló víznek ne legyen káros hatása
4	Fröccsenő víz ellen védett gép	A bármilyen irányból a gépre fröccsenő víznek ne legyen káros hatása
5	Vízszugár ellen védett gép	Egy fúvókából bármilyen irányból a gépre érkező vízszugárnak ne legyen káros hatása
6	Hullámverés ellen védett gép	A viharos tengerről vagy erős vízszugárból ne hatoljon a víz a gépbe káros mennyiségben
7	Vízbe merítés ellen védett gép	A víz behatolása a gépbe káros mennyiségben ne legyen lehetséges, ha a gépet a meghatározott nyomáson a meghatározott ideig vízben alámerítik
8	Tartós vízbe merítés ellen védett gép	A gép alkalmas folyamatos víz alá merítésre a gyártó által meghatározott körülmények között

### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

#### 3.4 Villamos forgógépek védettsége ⇒ MSZ EN 60034 – 5

##### 3.4.3 Áttekintő táblázat

Első számjegy			Második számjegy		
Védelem a személyek és a burkolaton belüli alkatrészek számára			Védelem víz behatolásának káros hatásával szemben		
IP	Vizsgálat	Leírás	IP	Vizsgálat	Leírás
0		Nem védett gép	0		Nem védett gép
1		50 mm-nél nagyobb szilárd testek ellen védett gép	1		Csepegő víz ellen védett gép
2		12 mm-nél nagyobb szilárd testek ellen védett gép	2		Csepegő víz ellen védett gép max. 15°-os dőlésig
3		2,5 mm-nél nagyobb szilárd testek ellen védett gép	3		Permetező víz ellen védett gép
4		1 mm-nél nagyobb szilárd testek ellen védett gép	4		Fröccsenő víz ellen védett gép
5		Por ellen védett gép	5		Víz sugar ellen védett gép
6		Pormentes gép	6		Hullámverés ellen védett gép
			7		Vízbe merítés ellen védett gép
			8		Tartós vízbe merítés ellen védett gép



### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

#### 3.5 Villamos forgógépek szigetelési osztályai



Villamos forgógépek tekercselése és lemeztete között

**SZIGETELÉS**

Hőállóság (termikus stabilitás)

a villamos szigetelőanyagok az a képessége, amelynek fogva a megengedett hőmérsékletnövekedés hatására is megtartja jellemző tulajdonságait a villamos motorra előírt üzemi idő alatt.

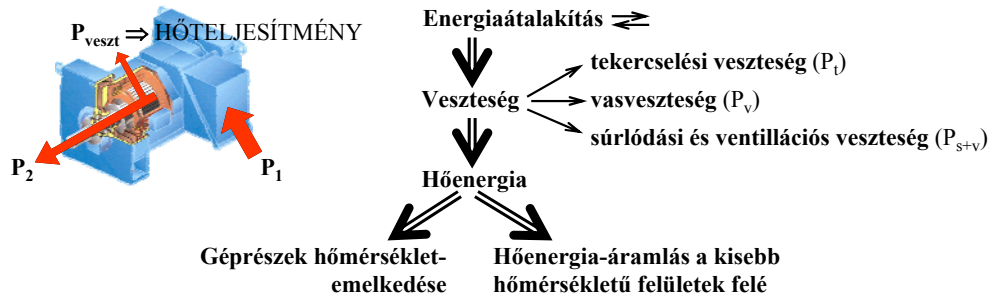
Villamos szigetelőanyagok hőállósági osztályba sorolása ⇒ **MSZ EN 60085**

Az osztály jele	Határhőmérséklet a legmelegebb ponton ( $t_{max}$ ) °C	Az osztályba tartozó szigetelőanyagok fő csoportjai
A	105	pamut, selyem, papír impregnálva vagy olajba helyezve
E	120	pamut és papíryananyagok szintetikus gyantákkal kezelve vagy fóliával bevonva
B	130	mika, üvegrost, aramid, kapron, stb. és ezek kombinációi általában szintetikus kötőanyagokkal
F	155	az előbbi anyagok és kombinációik
H	180	szilikon elasztomerek és mika, üvegrost, üvegfolia kombinációk szilikon gyantákkal és lakkokkal kezelve
C	> 180, esetenként meghatározva	mika, porcelán, üveg, kvarc és ezek kombinációi szervesen kötőanyagokkal vagy anélkül

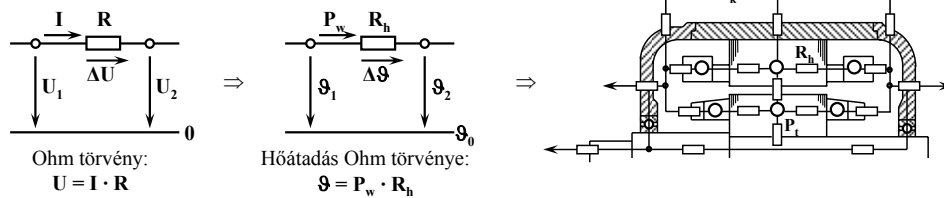
### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

#### 3.6 Villamos forgógépek melegedése, hűlése és hűtése

##### 3.6.1 Villamos forgógépek melegedése



A folyamat leírása: villamos analógia alapján

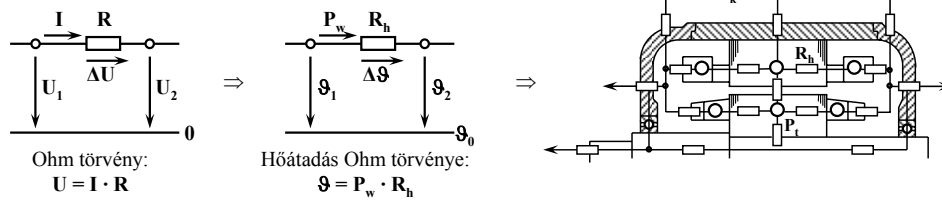


### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

#### 3.6 Villamos forgógépek melegedése, hűlése és hűtése

##### 3.6.1 Villamos forgógépek melegedése

A folyamat leírása: villamos analógia alapján



A folyamat leírását egyszerűsítő feltételek:

- a veszteségi teljesítmény, a fajhő, a hőátadási tényező állandó;
- a túlmelegedési függvényt  $\vartheta(t)$  a legmagasabb hőmérsékletű alkatrészre, a tekercselésre értelmezzük;
- a vizsgált gép sem szerkezet, sem a létrejövő veszteségek eloszlása szempontjából nem homogén, de a tekercselést homogénnek tekintjük. A többi veszteségnek a tekercselés melegedésére gyakorolt hatását a **mértékadó veszteség** módszerével vesszük figyelembe.

### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

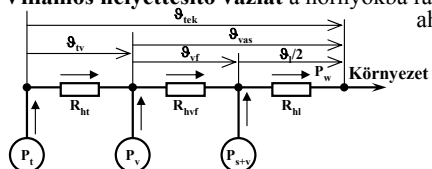
#### 3.6 Villamos forgógépek melegedése, hűlése és hűtése

##### 3.6.1 Villamos forgógépek melegedése

###### A. Állandósult állapot

Állandó veszteségek mellett a gép egy pontjában a hőmérséklet az időtől függetlenül állandó. A keletkező és a távozó hőteljesítmény egymással egyenlő.

Villamos helyettesítő vázlat a hornyokba rakott tekercselések melegedésére állandósult állapotban:



ahol:

- $P_t$  a tekercselési veszteség;
- $P_v$  a vasveszteség;
- $P_{s+v}$  a súrlódási és ventilációs veszteség;
- $\vartheta_{tv}$  és  $R_{ht}$  a tekercselés és a vastest közötti hőlépcső illetve hőellenállás;
- $\vartheta_{vf}$  és  $R_{hvf}$  a vastest és a hőleadó felület hőlépcsője illetve hőellenállása;
- $\vartheta_1$  és  $R_{h1}$  a hűtőlevegő túlmelegedése illetve a környezetig terjedő szakasz hőellenállása; (azért számolunk az átlagos  $\vartheta/2$ -vel, mert a gép aktív részeivel érintkező hűtőlevegő hőmérséklete a be- és kiömlő keresztmetszetenél mért érték között van;)
- $\vartheta_{tek}$  és  $\vartheta_{vas}$  a tekercselés ill. a vastest túlmelegedése a környezethez képest.

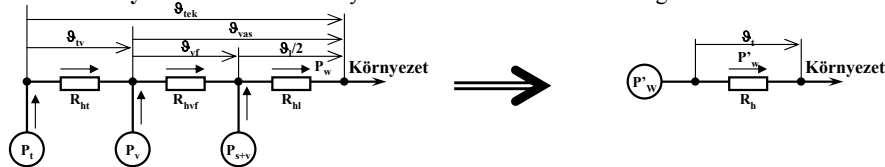
### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

#### 3.6 Villamos forgógépek melegedése, hűlése és hűtése

##### 3.6.1 Villamos forgógépek melegedése

###### A. Állandósult állapot

Villamos helyettesítő vázlat a hornyokba rakott tekercselések melegedésére állandósult állapotban:



###### B. Mértékadó vagy redukált veszteség ( $P'_w$ ) számítása

Csomóponti egyenlet:  $P_w = P_t + P_v + P_{s+v}$

Hurok egyenlet:  $\vartheta_t = \vartheta_{tv} + \vartheta_{vf} + \vartheta_{hl}/2$  }  $\vartheta_t = P_t \cdot R_{ht} + (P_t + P_v) \cdot R_{hvf} + (P_t + P_v + P_{s+v}) \cdot R_{hl}$

$$\vartheta_t = P_t \cdot (R_{ht} + R_{hvf} + R_{hl}) + P_v \cdot (R_{hvf} + R_{hl}) + P_{s+v} \cdot R_{hl}$$

$$\vartheta_t = (R_{ht} + R_{hvf} + R_{hl}) \cdot \left( P_t + \frac{R_{hvf} + R_{hl}}{R_{ht} + R_{hvf} + R_{hl}} P_v + \frac{R_{hl}}{R_{ht} + R_{hvf} + R_{hl}} P_{s+v} \right)$$

$R_h$                        $k_v \approx 0,6 - 0,8$                        $k_s \approx 0,1$

$$\vartheta_t = R_h \cdot (P_t + k_v \cdot P_v + k_s \cdot P_{s+v})$$

$$P'_w \Rightarrow \vartheta_t = R_h \cdot P'_w$$

### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

#### 3.6 Villamos forgógépek melegedése, hűlése és hűtése

##### 3.6.1 Villamos forgógépek melegedése

###### C. Melegedési és hűlési tranzien folyamatok

Üzemállapot változás  $\Rightarrow$  veszteségek változása  $\Rightarrow$  hőmérséklet változás

A melegedés differenciálegyenlete:

tekercselés  $d\vartheta$  túlmelegedését fedező (hőkapacitásban tárolódó) energia

dt idő alatt létrejövő hőenergia

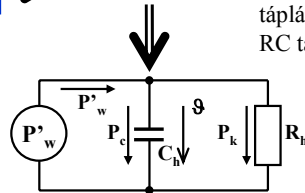
$$P'_w dt = G \cdot c \cdot d\vartheta + A \cdot h \cdot \vartheta \cdot dt$$

ahol G: a súly; A: a hűtőfelület;  
c: a fajhő; h: a hőátadási tényező.

hőkapacitás:  $C_h = G \cdot c$       hőellenállás:  $R_h = \frac{1}{A \cdot h}$

$$P'_w = C_h \cdot \frac{d\vartheta}{dt} + \frac{\vartheta}{R_h} = P_c + P_k$$

$\Rightarrow$  Villamos analógia: áramgenerátoros táplálású párhuzamos RC tag egyenletével



### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

#### 3.6 Villamos forgógépek melegedése, hűlése és hűtése

##### 3.6.1 Villamos forgógépek melegedése

###### C. Melegedési és hűlési tranzien folyamatok

Felmelegedés időfüggvénye  $\vartheta(t)$



A melegedés differenciálegyenlete:  $P'_w dt = C_h \cdot d\vartheta + \frac{\vartheta}{R_h} dt$

**Feltétel:** állandósult állapotban ( $t \Rightarrow \infty$ )  $d\vartheta = 0$ ,  
a maximális túlmeleg elérésekor  $P'_w = \vartheta_{max}/R_h$

A változók szétválasztásával:  $\frac{\vartheta_{max} - \vartheta}{R_h} dt = C_h \cdot d\vartheta \Rightarrow \int_0^t \frac{1}{R_h \cdot C_h} dt = \int_0^{\vartheta} \frac{-1}{\vartheta_{max} - \vartheta} d\vartheta \Rightarrow$

$$\frac{t}{R_h \cdot C_h} = [-\ln(\vartheta_{max} - \vartheta)]_0^{\vartheta} = -[\ln(\vartheta_{max} - \vartheta) - \ln \vartheta_{max}] = -\ln \frac{\vartheta_{max} - \vartheta}{\vartheta_{max}}$$

villamos analógia alapján:  $R_h \cdot C_h = T$

$$-\frac{t}{T} = \ln \frac{\vartheta_{max} - \vartheta}{\vartheta_{max}} \Rightarrow e^{-\frac{t}{T}} = \frac{\vartheta_{max} - \vartheta}{\vartheta_{max}} \Rightarrow \vartheta = \vartheta_{max} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right)$$

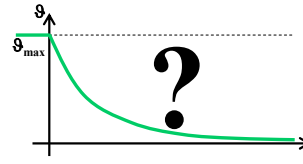
### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

#### 3.6 Villamos forgógépek melegedése, hűlése és hűtése

##### 3.6.1 Villamos forgógépek melegedése

###### C. Melegedési és hűlési transziens folyamatok

Lehűlés időfüggvénye  $\vartheta(t)$



**Feltétel:** a motort lekapcsoljuk a hálózatról, és feszültségmentes állapotba kerül  $\Rightarrow P'_w = 0$

A folyamat differenciálegyenlete:

$$0 = C_h \cdot d\vartheta + \frac{\vartheta}{R_h} \cdot dt$$

A változók szétválasztásával:

$$C_h \cdot d\vartheta = -\frac{\vartheta}{R_h} dt \Rightarrow \int_0^{\vartheta} \frac{1}{\vartheta} d\vartheta = \int_0^t -\frac{1}{C_h \cdot R_h} dt \Rightarrow$$

$$[\ln \vartheta]_{\vartheta_{\max}}^{\vartheta} = \ln \frac{\vartheta}{\vartheta_{\max}} = -\frac{t}{T} \Rightarrow \frac{\vartheta}{\vartheta_{\max}} = e^{-\frac{t}{T}} \Rightarrow \boxed{\vartheta = \vartheta_{\max} \cdot e^{-\frac{t}{T}}}$$



### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

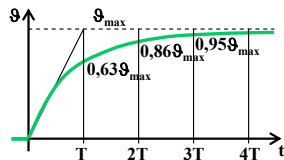
#### 3.6 Villamos forgógépek melegedése, hűlése és hűtése

##### 3.6.1 Villamos forgógépek melegedése

##### C. Melegedési és hűlési tranzien folyamatok

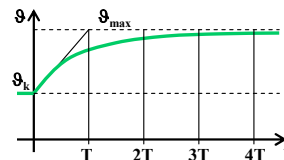
1. Felmelegedési időfüggvények:

a. a melegedés kezdeti hőmérséklete  $\vartheta_k = 0$



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

b. a melegedés kezdeti hőmérséklete  $\vartheta_k \neq 0$



$$\vartheta = \vartheta_{\max} - (\vartheta_{\max} - \vartheta_k) \cdot e^{-\frac{t}{T}}$$

**Megjegyzés:**

A felmelegedési görbék kezdeti érintői:

$$\left. \frac{d\vartheta}{dt} \right|_{t=0} = \frac{\vartheta_{\max}}{T}$$

### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

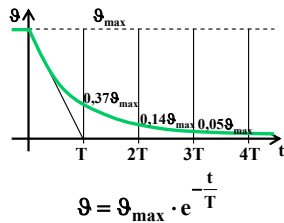
#### 3.6 Villamos forgógépek melegedése, hűlése és hűtése

##### 3.6.1 Villamos forgógépek melegedése

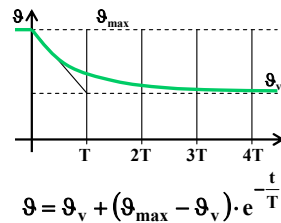
##### C. Melegedési és hűlési tranzien folyamatok

2. Lehűlési időfüggvények:

a. a hűlés vég hőmérséklete  $\vartheta_v = 0$



b. a hűlés vég hőmérséklete  $\vartheta_v \neq 0$



**Megjegyzés:**

- A lehűlési görbék kezdeti érintői:  $\left. \frac{d\vartheta}{dt} \right|_{t=0} = -\frac{\vartheta_{\max}}{T}$
- A felmelegedési és lehűlési görbékénél azonos időállandót feltételezünk  $\Rightarrow$  melegedés és hűlés folyamán a hőátadás megegyezik ( $h = \text{const.}$ )  $\Rightarrow$  idegen szellőzésű gépek
- Saját szellőzésű motoroknál az álló (*hűlés*) és forgó állapothoz tartozó időállandók jelentősen eltérnek.

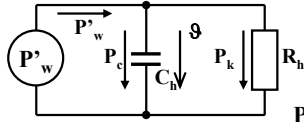
### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

#### 3.6 Villamos forgógépek melegedése, hűlése és hűtése

##### 3.6.1 Villamos forgógépek melegedése

###### C. Melegedési és hűlési tranzien folyamatok

Rövid ideig tartó túlterhelések



Például: aszinkron motornál indítási áramlökés

Differenciálegyenlet:

$$P'_w = C_h \cdot \frac{d\vartheta}{dt} + \frac{\vartheta}{R_h} = P_c + P_k$$

$P'_w$  ugrásszerűen megnő.

A keletkező hőmennyiség a tekercselés hőmérsékletét emeli.

A gép a hirtelen változás (rövid idő) miatt a környezetnek nem tud hőt átadni.  $P_k \approx 0$ .

A hőmérséklet növekedés:

$$\Delta\vartheta = \vartheta_{\text{vég}} - \vartheta_{\text{kezdet}} = \frac{P'_w}{G \cdot c} \cdot \Delta t,$$

ahol  $\Delta t$ : a túlterhelés időtartama.

Anyagállandókkal ( $P'_w$  ill.  $G$  a tekercselés térfogatával arányos):

$$\vartheta_v - \vartheta_k = \frac{\rho \cdot s'^2 \cdot V}{\gamma \cdot V \cdot c} \cdot \Delta t = K_\vartheta \cdot \Delta t,$$

ahol  $\rho$ : a fajlagos ellenállás;

$c$ : a fajhő;

$\gamma$ : a fajsúly;

$s'$ : a  $P'_w$ -nek megfelelő áramsűrűség (gyakorlatban  $s' \approx s$ ).

$$K_\vartheta = \frac{\gamma \cdot c}{\rho}$$

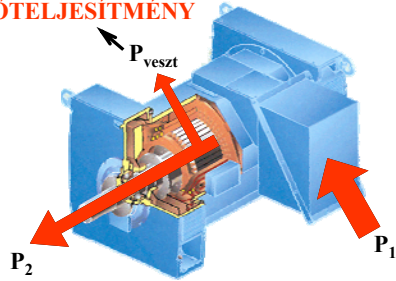
(a tekercselés melegedésére jellemző állandó)

### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

#### 3.6 Villamos forgógépek melegedése, hűlése és hűtése

##### 3.6.2 A villamos forgógépek hűtésének fizikai alapjai

**HŐTELJESÍTMÉNY**



Energiaátalakítás  $\rightleftharpoons$

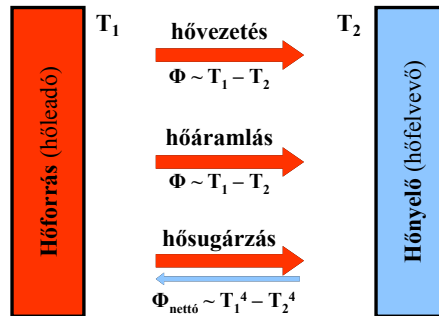


Veszteség (hőteljesítmény)



Géprészek hőmérséklet-emelkedése

Hőenergia terjedése:

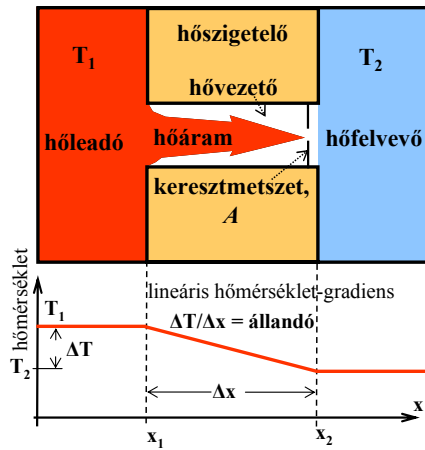


### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

#### 3.6 Villamos forgógépek melegedése, hűlése és hűtése

##### 3.6.2 A villamos forgógépek hűtésének fizikai alapjai

###### A. Hővezetés (melegvezetés)



Fogalmak:

- Stacionárius hőáram [J/s]

$$\Phi = \lambda \cdot A \cdot \frac{T_1 - T_2}{x_1 - x_2} = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

ahol  $\lambda$ : hővezetési tényező [ $\text{WK}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ ];

$A$ : a két termikus kontaktusban álló tárgy közötti összeköttetés keresztmetszete;

$\Delta T$ : a forrás és a nyelő közötti hőmérséklet-különbség;

$\Delta x$ : a forrás és a nyelő közötti távolság.

- Lineáris hőáramsűrűség [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]

$$q = \lambda \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x}; \text{ Fourier-féle hővezetési törvény.}$$

**A melegvezetés hatása a villamos forgógépek hűtése szempontjából az álló állapoton kívül gyakorlatilag elhanyagolható.**

### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

#### 3.6 Villamos forgógépek melegedése, hűlése és hűtése

##### 3.6.2 A villamos forgógépek hűtésének fizikai alapjai

###### B. Hősugárzás

Stefan-Boltzmann törvény szerint fekete test felületegységre eső sugárzási teljesítménye:

$$q_r = B \cdot T^4$$



ahol  $q$ : a kisugárzott felületi hőteljesítmény [ $\text{W}/\text{m}^2$ ];

$B = 5,670 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$ , Boltzmann-állandó;

$T$ : a sugárzó test termodinamikai hőmérséklete [K].

$$q_r = B (T^4 - T_u^4),$$

ahol  $T_u$ : a fekete test környezetének termodinamikai hőmérséklete [K].

Sugárzással hőteljesítményt

- alacsony fordulatszámú, vagy
- álló, nagy méretű, sima felületű motorok adnak le.

Sugárzási hőteljesítmény (idő- és felületegységre):

$$q_r = \varepsilon \cdot B \cdot (T_M^4 - T_K^4),$$



ahol  $\varepsilon$ : a motor színére jellemző viszonyszám;

$T_M$ : a motor felületének hőmérséklete [K];

$T_K$ : a besugárzott környezet hőmérséklete [K].

$$q_r = h_r \cdot \vartheta = h_r (\tau_M - \tau_K),$$

ahol  $h_r$ : sugárzási hőátadási tényező [ $\text{W}/\text{m}^2\text{°C}$ ],  
gyakorlati értéke  $6,5 \text{ W}/\text{m}^2\text{°C}$ ;

$$h_r = (6...7) \text{ W}/\text{m}^2\text{°C}$$

$\tau_M$ : a motorfelület hőmérséklete [ $^{\circ}\text{C}$ ];

$\tau_K$ : a környezet hőmérséklete [ $^{\circ}\text{C}$ ].

### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

#### 3.6 Villamos forgógépek melegedése, hűlése és hűtése

##### 3.6.2 A villamos forgógépek hűtésének fizikai alapjai

###### C1. Természetes konvekció



A hőáramlás áramló gázok vagy folyadékok mozgásával végbemenő hőtranszport.  
A folyamatot a lokális hőmérsékletkülönbség által okozott sűrűségkülönbség indítja el.

A hőátadási tényező tapasztalati értéke:

$$h_{tk} = (6,5 \dots 7,5) \text{ W/}^\circ\text{Cm}^2$$

A hőleadási teljesítmény:

$$q_{tk} = h_{tk} \cdot \vartheta = h_{tk} \cdot (\tau_M - \tau_K) \approx 7 \cdot (\tau_M - \tau_K) \text{ W/m}^2$$

Statikus hőátadási tényező:

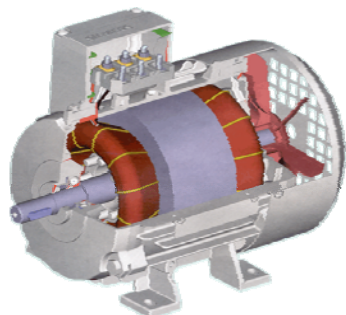
$$h_{st} = h_r + h_{tk} = (13 \dots 15) \text{ W/}^\circ\text{Cm}^2$$

### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

#### 3.6 Villamos forgógépek melegedése, hűlése és hűtése

##### 3.6.2 A villamos forgógépek hűtésének fizikai alapjai

###### C2. Mesterséges konvekció



A gép mesterséges szellőzéssel rendelkezik



A hőátadási tényező meghatározása nehéz, mivel nem ismerjük:

- a gép belsejében fellépő hőellenállást;
- az egyes áramlási szakaszokban átadott hőteljesítmény értékét;
- a hűtőközeg az alkatrészek mekkora túlmelegedésénél veszi át a meleget.

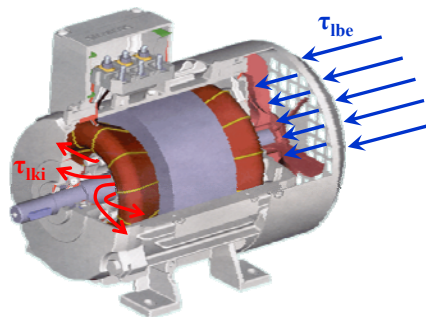


### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

#### 3.6 Villamos forgógépek melegedése, hűlése és hűtése

##### 3.6.2 A villamos forgógépek hűtésének fizikai alapjai

###### C2. Mesterséges konvekció



A hűtőlevegő túlmelegedése:

$$\vartheta_{lev} = \tau_{lki} - \tau_{lbe} = \frac{P_W}{c_{lev} \cdot V_{lev}},$$

ahol

$\tau_{lbe}$ : a beáramló levegő hőmérséklete [°C];

$\tau_{lki}$ : a kiáramló levegő hőmérséklete [°C];

$P_W$ : a motor összes vesztesége [W];

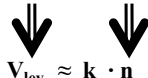
$c_{lev} = 1200 \text{ W s/}^\circ\text{C m}^3$ , a levegő fajhője;

$V_{lev}$ : a levegő mennyisége [ $\text{m}^3/\text{s}$ ].

Radiális síklapátú szellőzőknél (átlagos áramlási ellenállást és belső nyomásesést feltételezve):

$$V_{lev} \approx 0,2 \cdot v_k \cdot A_k,$$

ahol  $v_k$ : a szellőzőkerék kerületi sebessége [m/s];



$$V_{lev} \approx k \cdot n$$

$A_k$ : a levegő kilépési keresztmetszete [ $\text{m}^2$ ].

Gyakorlati tapasztalatok alapján:

$$h_{mk} = (1.5 \dots 4) \cdot h_{st} \approx (20 \dots 55) \text{ W/}^\circ\text{C m}^2$$

### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

#### 3.6 Villamos forgógépek melegedése, hűlése és hűtése

##### 3.6.3 Hűtési módok jelölésrendszere ⇒ MSZ EN 60034 – 6



#### Megjegyzés:

- a **teljes jelölés** felismerhetősége ⇒ **IC** után 3 v. 5 szám és betű áll szabályos sorrendben  
pl. **IC 3A1**; **IC 4A1A1**; **IC 7A1W7**;
- az **egyszerűsített jelölés** felismerhetősége ⇒ **IC** után 2 v. 3 egymást követő szám, v. utolsó helyen betű áll  
pl. **IC 31**; **IC 411**; **IC 71W**.

### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

#### 3.6 Villamos forgógépek melegedése, hűlése és hűtése

##### 3.6.3 Hűtési módok jelölésrendszere ⇒ MSZ EN 60034 – 6

##### 3.6.3.1 A hűtőkör-elrendezés jellemző száma

IC

A hűtőközeg(ek) keringetésére és a hőnek a gépből történő eltávolítására jellemző hűtőkör-elrendezést jelöli.

Jellemző szám	Rövid leírás	Meghatározás
0	Szabad keringés	A hűtőközeg közvetlenül a környező közegből szabadon beszívódik, lehűti a gépet majd szabadon visszatér közvetlenül a környező közegbe (nyitott hűtőkör).
1	Beömlő cső vagy beömlő hűtőcsatorna keringtetésű	A hűtőközeg a géptől távoli közegből beszívódik, az a beömlő csövön vagy hűtőcsatormán keresztül a géphez van vezetve, áthalad a gépen, majd közvetlenül a környező közegbe tér vissza (nyitott hűtőkör).
2	Kiömlő cső vagy kiömlő hűtőcsatorna keringtetésű	A hűtőközeg közvetlenül a környező közegből beszívódik, áthalad a gépen, majd a gépből a kiömlő csövön vagy hűtőcsatormán keresztül a géptől távoli közegbe ürül ki (nyitott hűtőkör).
3	Be- és kiömlő cső vagy hűtőcsatorna keringtetésű	A hűtőközeg a géptől távoli közegből beszívódik, az a beömlő csatormán vagy hűtőcsatormán keresztül a géphez van vezetve, keresztülhalad a gépen, majd a kiömlő csatormán vagy hűtőcsatormán keresztül a géptől távoli közegbe ürül ki (nyitott hűtőkör).
4	Gépházfelület hűtésű	A primer hűtőközeg a gépben zárt hűtőkörben van keringtetve, hőmennyiségét a gép külső felületén keresztül (az állórész lemeztésén és az egyéb hővezető részekben keresztül leadott hőmennyiségek mellett) adja át a végső hűtőközegnek, ami a környező közeg. A felület lehet sima vagy bordázott, a hőátadást javító külső köpennyel vagy anélkül.
5	Szervesen beépített (környező közeget felhasználó) hőcserélő	A primer hűtőközeg zárt hűtőkörben van keringtetve, hőmennyiségét a gépbe épített, és annak szerves részét képező hőcserélőn keresztül adja át a végső hűtőközegnek, ami a környező közeg.
6	Gépre szerelt (környező közeget felhasználó) hőcserélő	A primer hűtőközeg zárt hűtőkörben van keringtetve, hőmennyiségét közvetlenül a gépre szerelt hőcserélőn keresztül adja át a végső hűtőközegnek, ami a környező közeg.
7	Szervesen beépített (távoli közeget felhasználó) hőcserélő	A primer hűtőközeg zárt hűtőkörben van keringtetve, hőmennyiségét a gépbe épített, és annak szerves részét képező hőcserélőn keresztül adja át a szekunder hűtőközegnek, ami a távoli közeg.
8	Gépre szerelt hőcserélő (távoli közeget felhasználó)	A primer hűtőközeg zárt hűtőkörben van keringtetve, hőmennyiségét közvetlenül a gépre szerelt hőcserélőn keresztül adja át a szekunder hűtőközegnek, ami a távoli közeg.
9	Különálló (környező vagy távoli közeget felhasználó) hőcserélő	A primer hűtőközeg zárt hűtőkörben van keringtetve, hőmennyiségét, a géptől különálló hőcserélőn keresztül adja át a szekunder hűtőközegnek, ami vagy a környező, vagy a távoli közeg.

### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

#### 3.6 Villamos forgógépek melegedése, hűlése és hűtése

##### 3.6.3 Hűtési módok jelölésrendszere ⇒ MSZ EN 60034 – 6

##### 3.6.3.2 A hűtőközeg jellemző betűje

IC

A primer hűtőközeget jelölő betű

A szekunder hűtőközeget jelölő betű

Jellemző betű	Hűtőközeg
A	Levegő
F	Freon
H	Hidrogén
N	Nitrogén
C	Széndioxid
W	Víz
U	Olaj
S	Tetszőleges más hűtőközeg
Y	Még nem kiválasztott hűtőközeg

### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

#### 3.6 Villamos forgógépek melegedése, hűlése és hűtése

##### 3.6.3 Hűtési módok jelölésrendszere ⇒ MSZ EN 60034 – 6

##### 3.6.3.3 A hűtőközeg továbbítási módjának jellemző száma

IC

(A teljes jelölésben) az egyes hűtőközegeket jelölő betűket követő számok ennek a megfelelő hűtőközegnek a továbbítási módját jelölik az alábbi táblázattal összhangban.

Jellemző szám	Rövid leírás	Meghatározás
0	Szabad hőáramlás	A hűtőközeg a hőmérsékletkülönbség hatására mozog. A forgórész szellőztető hatása elhanyagolható.
1	Önkeringtetés	A hűtőközeg a főgép fordulatszámától függően vagy kizárólag a forgórész hatására, vagy az e célra tervezett és közvetlenül a főgép forgórészére felszerelt alkatrész segítségével vagy a főgép, illetve a forgórész által mechanikusan meghajtott szellőzőventilátorral vagy szivattyúval továbbítódik.
2, 3, 4		Későbbi felhasználás céljára fenntartva.
5	Szervesen beépített független elem	A hűtőközeg egy szervesen beépített elem segítségével továbbítódik, amelynek hajtóteljesítménye a főgép fordulatszámától független módon biztosított, például saját villamos hajtómotorjával működtetett belső szellőzőventilátor vagy szivattyú.
6	Gépre szerelt független elem	A hűtőközeg egy gépre szerelt elem segítségével továbbítódik, amelynek hajtóteljesítménye a főgép fordulatszámától független módon biztosított, például saját villamos hajtómotorjával működtetett gépre szerelt szellőzőventilátor vagy szivattyú.
7	Különálló és független elem, vagy nyomás alatt álló hűtőközeg-rendszer	A hűtőközeg egy géptől független és arra nem szerelt, különálló villamos vagy mechanikai elem segítségével, vagy a hűtőközeget keringtető rendszer nyomásának hatására továbbítódik, például nyomás alatt álló vízvezeték- vagy gáz-vezetékvezeték-ről táplálva.
8	Viszonylagos elmozdulás	A hűtőközeg továbbítását a gép és a hűtőközeg közötti viszonylagos elmozdulás eredményezi, vagy a gépnek a hűtőközeget keresztül történő mozgásával, vagy a környező hűtőközeg (levegő vagy folyadék) áramoltatásával.
9	Minden más elem	A hűtőközeg továbbítása a fentiekben meghatározott módszerektől eltérően történik, amit részletesen meg kell adni.

### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

#### 3.6 Villamos forgógépek melegedése, hűlése és hűtése

##### 3.6.3 Hűtési módok jelölésrendszere ⇒ MSZ EN 60034 – 6

##### 3.6.3.4 Összefoglalás

Pl. IC 4 A1 A11

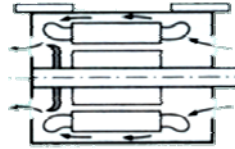
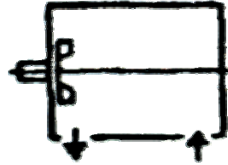
HŰTŐKÖR-ELRENDEZÉS		HŰTŐKÖZEG		HŰTŐKÖR-ELRENDEZÉS	
Jellemző szám	Rövid leírás	Jellemző szám	Rövid leírás	Jellemző szám	Rövid leírás
0	Szabad keringés	A	Levegő	0	Szabad hőáramlás
1	Beömlő cső vagy beömlő hűtőcsatorna keringtetésű	F	Freon	1	Önkeringtetés
2	Kiömlő cső vagy kiömlő hűtőcsatorna keringtetésű	H	Hidrogén	2	Későbbi felhasználás céljára fenntartva
3	Be- és kiömlő cső vagy hűtőcsatorna keringtetésű	N	Nitrogén	3	
4	Gépházfelület hűtése	C	Széndioxid	4	Szervesen beépített független elem
5	Szervesen beépített (környező közegét felhasználó) hőcserélő	W	Víz	5	
6	Gépre szerelt (környező közegét felhasználó) hőcserélő	U	Olaj	6	Gépre szerelt független elem
7	Szervesen beépített (távoli közegét felhasználó) hőcserélő	S	Tetszőleges más hűtőközeg	7	Különálló és független elem, v. nyomás alatt álló hűtőközeg-rendszer
8	Gépre szerelt hőcserélő (távoli közegét felhasználó)	Y	Még nem kiválasztott hűtőközeg	8	Viszonylagos elmozdulás
9	Különálló (környező vagy távoli közegét felhasználó) hőcserélő			9	Minden más elem

### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

#### 3.6 Villamos forgógépek melegedése, hűlése és hűtése

##### 3.6.3 Hűtési módok jelölésrendszere ⇒ MSZ EN 60034 – 6

##### 3.6.3.5 Példák



IC 0 A1

IC 0 1

**Szabad keringés:** a levegő (A) a környező közegből szabadon beszívódik, lehűti a gépet, majd szabadon visszatér közvetlenül a környező közegbe.

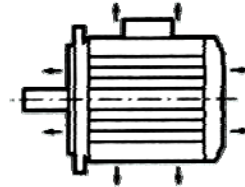
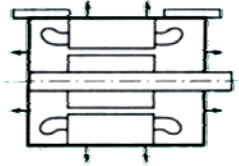
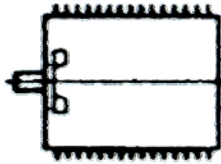
**Önkeringtetés:** ventilátor a gép tengelyére szerelve.

### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

#### 3.6 Villamos forgógépek melegedése, hűlése és hűtése

##### 3.6.3 Hűtési módok jelölésrendszere ⇒ MSZ EN 60034 – 6

##### 3.6.3.5 Példák



IC 4 A1 A0

IC 4 1 0

**Gépház felület hűtés:** a primer hűtőközeg a gépben zárt hűtőkörben van keringtetve, hőmennyiségét a gép külső felületein keresztül adja át a környezetnek.

**Szabad hőáramlás:** a szekunder hűtőközeg (A) a hőmérsékletkülönbség hatására mozog.

**Önkeringtetés:** a primer hűtőközeg (A) a forgórész hatására továbbítódik.

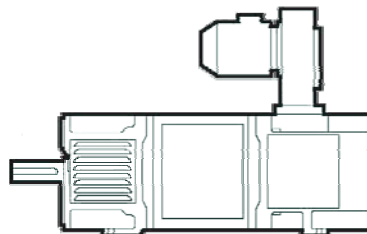
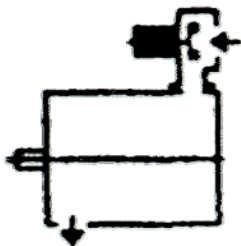


### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

#### 3.6 Villamos forgógépek melegedése, hűlése és hűtése

##### 3.6.3 Hűtési módok jelölésrendszere ⇒ MSZ EN 60034 – 6

##### 3.6.3.5 Példák



IC 0 A6

IC 0 6

Szabad keringés (nyitott hűtőkör).

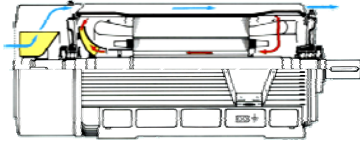
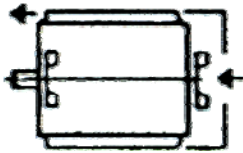
A gépre szerelt független elem továbbítja a hűtőközeget (saját villamos motorjával működtetett főgéptől független fordulatszámú ventilátor).

### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

#### 3.6 Villamos forgógépek melegedése, hűlése és hűtése

##### 3.6.3 Hűtési módok jelölésrendszere ⇒ MSZ EN 60034 – 6

##### 3.6.3.5 Példák



**IC 4 A1 A1**

**IC 4 1 1**

**Gépház felület hűtés**  
(környező közeget felhasználva).

**Önkeringtetés:** a szekunder hűtőközeg (A) a forgórészre szerelt ventilátorral továbbítódik.

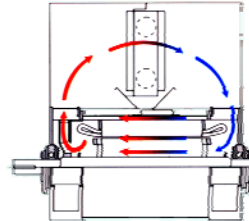
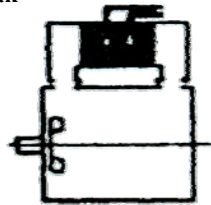
**Önkeringtetés:** a primer hűtőközeg (A) a forgórészre szerelt ventilátorral továbbítódik.

### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

#### 3.6 Villamos forgógépek melegedése, hűlése és hűtése

##### 3.6.3 Hűtési módok jelölésrendszere ⇒ MSZ EN 60034 – 6

##### 3.6.3.5 Példák



IC 8 A1 W7

IC 8 1 W

**Hűtőkör elrendezés:** a primer hűtőközeg zárt körben van keringtetve, hőmennyiségét közvetlenül a gépre szerelt hőcserélőn adja át a szekunder hűtőközegnek, ami távoli közeg (W).

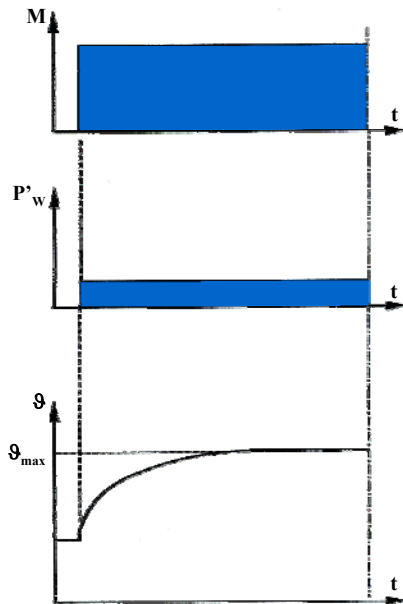
A szekunder hűtőközeg víz, feltételezhetően továbbítása a géptől különálló, független elem vagy nyomás alatt álló önálló rendszer segítségével történik.

A primer hűtőközeg levegő, amely **önkeringtetés** révén továbbítódik.

### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

#### 3.7 Villamos motorok üzem típusai

##### 3.7.1 Állandó üzem $\Rightarrow$ S1 üzem típus



Állandó terhelésű működés, melynek időtartama elegendő ahhoz, hogy a gép elérje a hőegyensúlyi állapotot.

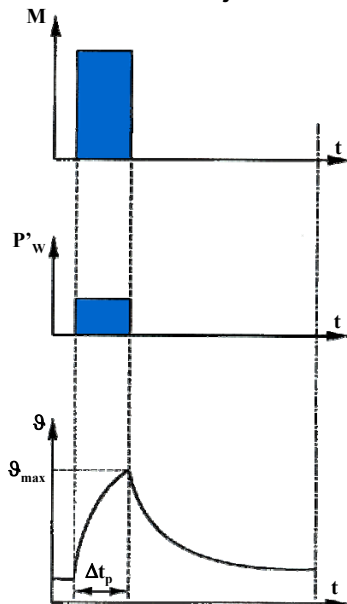
Helyes rövidítése: **S1**

- M = terhelés
- P'\_w = villamos veszteségek
- Θ = hőmérséklet
- Θ\_max = elért legnagyobb hőmérséklet
- t = idő

### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

#### 3.7 Villamos motorok üzem típusai

##### 3.7.2 Rövid idejű üzem $\Rightarrow$ S2 üzem típus



Megadott időtartamú állandó terhelésű működés, amelynek időtartama rövidebb a termikus egyensúly eléréséhez szükséges időnél, s amelyet elegendően hosszú időtartamú szünet követ ahhoz, hogy a gép hőmérséklete a hűtőközeg hőmérsékletét 2 K-en belül megközelítő értékre visszaálljon.

Helyes rövidítése: **S2 60 min**

Üzem típus jele

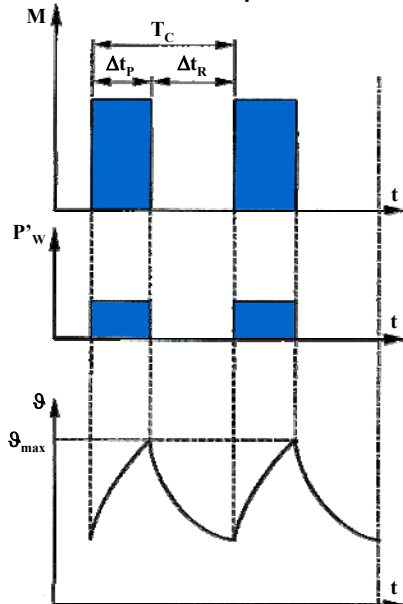
Az üzem időtartama

- M = terhelés
- $P'_w$  = villamos veszteségek
- $\theta$  = hőmérséklet
- $\theta_{max}$  = elért legnagyobb hőmérséklet
- t = idő
- $\Delta t_p$  = az állandó terhelésű működés időtartama

### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

#### 3.7 Villamos motorok üzem típusai

##### 3.7.3 Szakaszos periodikus üzem $\Rightarrow$ S3 üzem típus



Azonos üzemi ciklusok sorozata, amelyek mindegyike egy állandó terhelésű működésből és egy üzemszünetből áll. Ennél az üzemnél a ciklus olyan, hogy az indítási áram nem befolyásolja jelentősen a melegedést.

Helyes rövidítése: **S3 25%**

Üzem típus jele

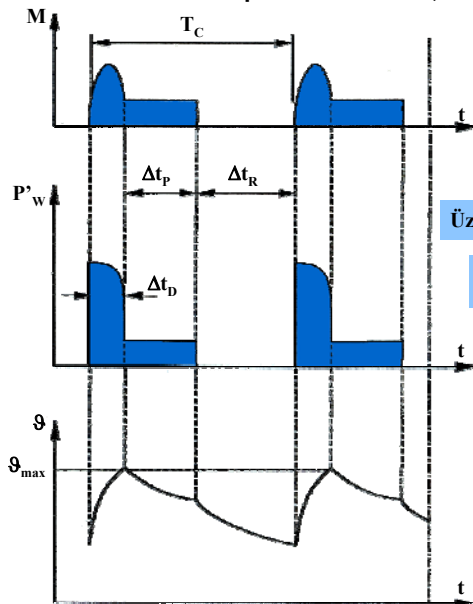
Viszonylagos bekapcsolási idő.

- M = terhelés
- P'<sub>w</sub> = villamos veszteségek
- θ = hőmérséklet
- θ<sub>max</sub> = elért legnagyobb hőmérséklet
- t = idő
- T<sub>C</sub> = egy terhelési ciklus időtartama
- Δt<sub>p</sub> = az állandó terhelésű működés időtartama
- Δt<sub>r</sub> = az üzemszünet időtartama
- Viszonylagos bekapcsolási idő =  $\Delta t_p / T_C$

### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

#### 3.7 Villamos motorok üzem típusai

##### 3.7.4 Szakaszos periodikus üzem, indítással ⇒ S4 üzem típus



Azonos üzemi ciklusok sorozata, amelyek mindegyike jelentős indítási szakaszból, állandó terhelésű működésből és üzemszünetből áll.

Helyes rövidítése:

**S4 25%  $\Theta_M=0,15 \text{ kgm}^2$   $\Theta_{ext}=0,7 \text{ kgm}^2$**

Üzem típus jele

Viszonylagos bekapcsolási idő

Motor tehetetlenségi nyomatéka a motor tengelyére vonatkoztatva.

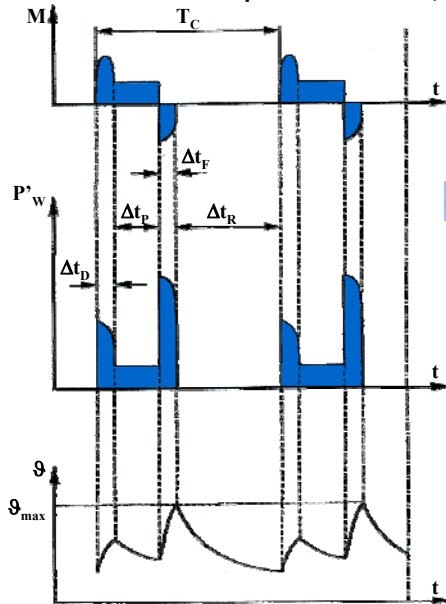
Terhelés tehetetlenségi nyomatéka a motor tengelyére vonatkoztatva.

- M = terhelés
  - P'\_w = villamos veszteségek
  - θ = hőmérséklet
  - θ\_max = elért legnagyobb hőmérséklet
  - t = idő
  - T\_C = egy terhelési ciklus időtartama
  - Δt\_D = indítás/gyorsulás időtartama
  - Δt\_p = az állandó terhelésű működés időtartama
  - Δt\_R = az üzemszünet időtartama
- Viszonylagos bekapcsolási idő =  $(\Delta t_D + \Delta t_p) / T_C$

### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

#### 3.7 Villamos motorok üzem típusai

##### 3.7.5 Szakaszos periodikus üzem, villamos fékezéssel ⇒ S5 üzem típus



Azonos üzemi periódusok sorozata, amelyek mindegyike egy indítási szakaszból, egy állandó terhelésű működésből, villamos fékezési szakaszból és üzemszünetből áll.

Helyes rövidítése:

**S5 25%  $\Theta_M=0,15 \text{ kgm}^2$   $\Theta_{\text{ext}}=0,7 \text{ kgm}^2$**

Üzem típus jele

Viszonylagos bekapcsolási idő

Motor tehetetlenségi nyomatéka a motor tengelyére vonatkoztatva.

Terhelés tehetetlenségi nyomatéka a motor tengelyére vonatkoztatva.

$M$  = terhelés

$P'_w$  = villamos veszteségek

$\vartheta$  = hőmérséklet

$\vartheta_{\text{max}}$  = elért legnagyobb hőmérséklet

$t$  = idő

$T_C$  = egy terhelési ciklus időtartama

$\Delta t_D$  = indítás/gyorsulás időtartama

$\Delta t_p$  = az állandó terhelésű működés időtartama

$\Delta t_F$  = a villamos fékezés időtartama

$\Delta t_R$  = az üzemszünet időtartama

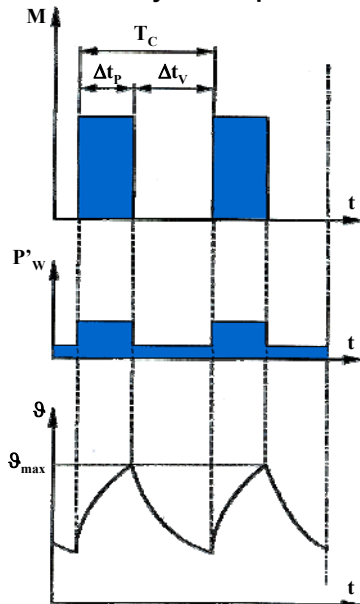
Viszonylagos bekapcsolási idő =  $(\Delta t_F + \Delta t_D + \Delta t_p)/T_C$



### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

#### 3.7 Villamos motorok üzem típusai

##### 3.7.6 Folyamatos periodikus üzem $\Rightarrow$ S6 üzem típus



Azonos üzemi ciklusok sorozata, amelyek mindegyike egy állandó terhelésű működésből és egy üresjárású szakaszból áll.

Helyes rövidítése: **S6 40%**

Üzem típus jele

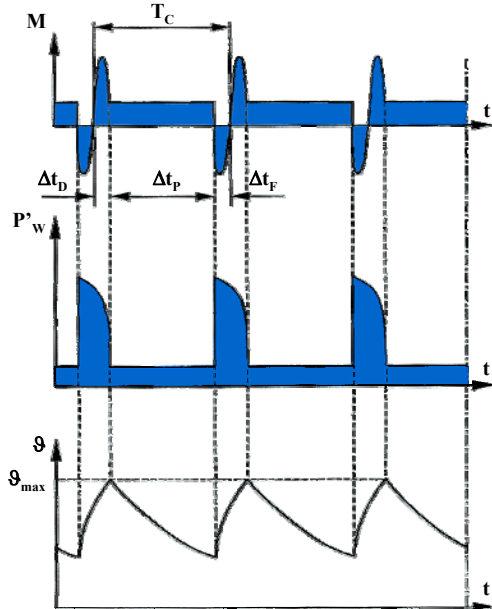
Viszonylagos bekapcsolási idő.

- M = terhelés
- P'<sub>w</sub> = villamos veszteségek
- θ = hőmérséklet
- θ<sub>max</sub> = elért legnagyobb hőmérséklet
- t = idő
- T<sub>C</sub> = egy terhelési ciklus időtartama
- Δt<sub>p</sub> = az állandó terhelésű működés időtartama
- Δt<sub>v</sub> = az üresjárású időtartama
- Viszonylagos bekapcsolási idő =  $\Delta t_p / T_C$

### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

#### 3.7 Villamos motorok üzem típusai

##### 3.7.7 Folyamatos periodikus üzem, fékezéssel ⇒ S7 üzem típus



Azonos üzemi ciklusok sorozata, amelyek mindegyike egy indítási szakaszból, egy állandó terhelésű működésből és villamos fékezési szakaszból áll. Üzemszünet nincs.

Helyes rövidítése:

S7  $\Theta_M = 0,4 \text{ kgm}^2$   $\Theta_{ext} = 7,5 \text{ kgm}^2$

Üzem típus jele

Motor tehetetlenségi nyomatéka a motor tengelyére vonatkoztatva.

Terhelés tehetlenségi nyomatéka a motor tengelyére vonatkoztatva.

M = terhelés

$P'_w$  = villamos veszteségek

$\theta$  = hőmérséklet

$\theta_{max}$  = elért legnagyobb hőmérséklet

t = idő

$T_C$  = egy terhelési ciklus időtartama

$\Delta t_D$  = indítás/gyorsulás időtartama

$\Delta t_P$  = az állandó terhelésű működés időtartama

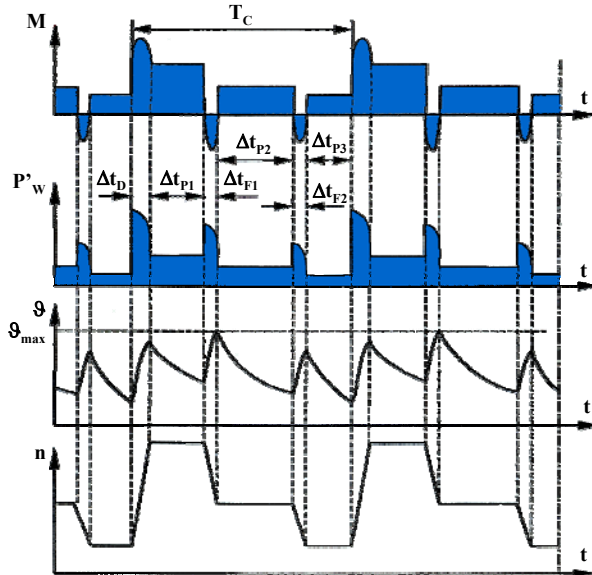
$\Delta t_F$  = a villamos fékezés időtartama

Viszonylagos bekapcsolási idő = 1

### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

#### 3.7 Villamos motorok üzem típusai

##### 3.7.8 Folyamatos periodikus üzem, összerendelt terhelés/fordulatszám változásokkal $\Rightarrow$ S8 üzem típus



Azonos ciklusokból álló sorozat, amelyek mindegyike egy előre meghatározott fordulatszámnak megfelelő állandó terhelésű szakaszból, és az azt követő egy vagy több, az előzőtől eltérő fordulatszámnak megfelelő más állandó terhelésű szakaszból áll (amely pl. aszinkron-motornál pólusszám-váltással valósítható meg). Üzemszünet nincs.

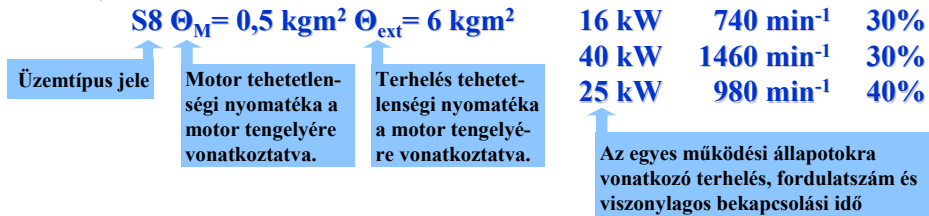
- $T_C$  = egy terhelési ciklus időtartama
- $\Delta t_D$  = indítás/gyorsulás időtartama
- $\Delta t_P$  = az állandó terhelésű működés időtartama (P1, P2, P3)
- $\Delta t_F$  = a villamos fékezés időtartama (F1, F2)

### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

#### 3.7 Villamos motorok üzem típusai

3.7.8 Folyamatos periodikus üzem,  
összerendelt terhelés/fordulatszám változásokkal  $\Rightarrow$  S8 üzem típus

Helyes rövidítése:



Viszonylagos bekapcsolási idő =  $(\Delta t_D + \Delta t_{P1})/T_C$ ;  $(\Delta t_{F1} + \Delta t_{P2})/T_C$ ;  $(\Delta t_{F2} + \Delta t_{P3})/T_C$

### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

#### 3.7 Villamos motorok üzem típusai

##### 3.7.9 Nem periodikus terhelés- és fordulatszám-változásokkal jellemezhető üzem ⇒ S9 üzem típus

Olyan üzem, amelyben a terhelés és a fordulatszám általában nem periodikusan változik a megengedhető működési tartományban. Ez az üzem gyakori túlterheléseket tartalmaz, amelyek a vonatkoztatási terhelést (teljes terhelést) jelentősen meghaladhatják.

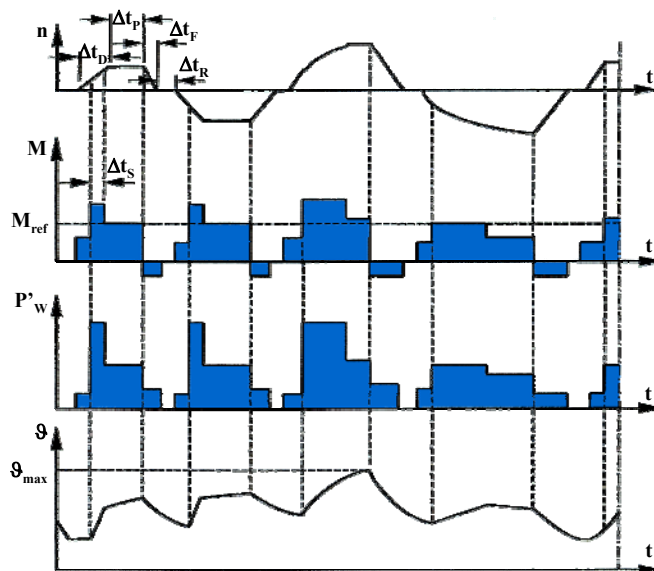
Helyes rövidítése: **S9**

Ennél az üzem típusnál a túlterhelés fogalmához egy, az S1 üzem típuson alapuló és megfelelően megválasztott állandó terhelést ( $M_{ref}$ ) kell vonatkoztatási értéknek tekinteni.

### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

#### 3.7 Villamos motorok üzem típusai

3.7.9 Nem periodikus terhelés- és fordulatszám-változásokkal jellemezhető üzem  $\Rightarrow$  S9 üzem típus

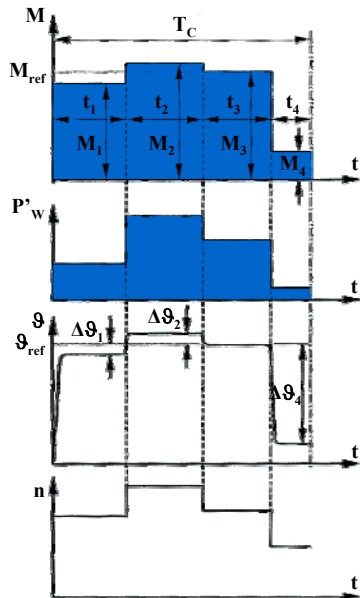


- M = terhelés
- $M_{ref}$  = referenciatelhelés
- $P'_w$  = villamos veszteségek
- $\Theta$  = hőmérséklet
- $\Theta_{max}$  = elért legnagyobb hőmérséklet
- n = fordulatszám
- t = idő
- $\Delta t_D$  = indítás/gyorsulás időtartama
- $\Delta t_P$  = az állandó terhelésű működés időtartama
- $\Delta t_F$  = a villamos fékezés időtartama
- $\Delta t_R$  = üzemszünet időtartama
- $\Delta t_S$  = túlterhelés időtartama

### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

#### 3.7 Villamos motorok üzem típusai

##### 3.7.10 Különböző állandó terhelésekkel jellemezhető üzem $\Rightarrow$ S10 üzem típus

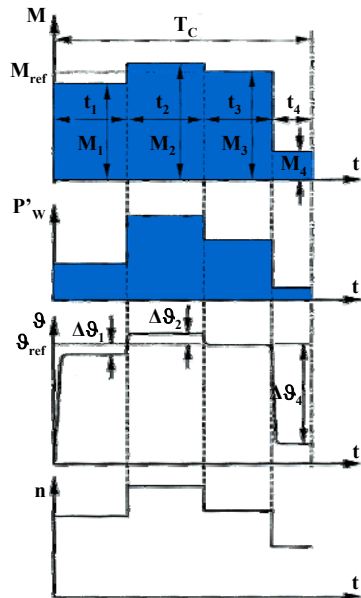


- $M_i$  = i-edik állandó terhelés a terhelési cikluson belül
- $M_{ref}$  = S1 típusú üzem melletti referenciaterhelés
- $\vartheta_{ref}$  = a referenciaterhelés S1 típusú üzeme melletti hőmérséklet
- $t_i$  = az i-edik állandó terhelés időtartama a cikluson belül
- $\Delta\vartheta_{ref}$  = a tekercselésnek a terhelési cikluson belüli i-edik állandó terhelés mellett kialakuló melegedése és a referenciaterhelés S1 típusú üzeme melletti melegedése közötti különbség

### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

#### 3.7 Villamos motorok üzemtypusai

##### 3.7.10 Különbözö állandó terhelésekkel jellemezhető üzem ⇒ S10 üzemtypus



Olyan üzem, amely négy-nél nem több diszkrét terhelésből (vagy egyenértékü terhelésből) áll, amelyek mindegyike elegendő ideig tart ahhoz, hogy a gép elérje a termikus egyensúlyt. Az egy üzemszakaszon belüli legkisebb terhelés nulla értékü is lehet (üresjárás vagy üzemszünet).

S10  $\left( \frac{p}{\Delta t} = 0,9/0,3; 1,1/0,2; 1/0,3; r/0,2; \right)$  TL = 0,6

A terhelések és időtartamuk viszonylagos egységekben (viszonyítási alap  $M_{ref}; T_c$ ). Üzemszüneti időre a terhelést  $r$  betüvel kell jelölni

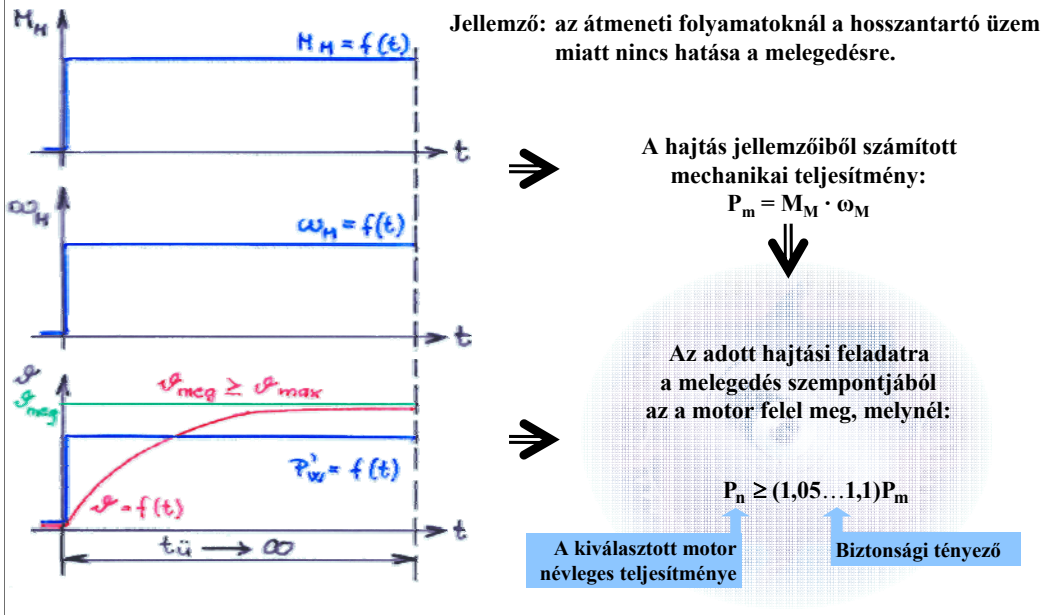
Várható viszonylagos termikus élettartam (TL). Vonatkoztatási értéke S1 üzemtypus, névleges terhelésnél, megengedhető melegedésnél várható élettartam. MSZ EN 60034-1:2004



### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

#### 3.8 Villamos motorok kiválasztási módszerei

##### 3.8.1 Állandó üzemű motorok (S1) kiválasztása



### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

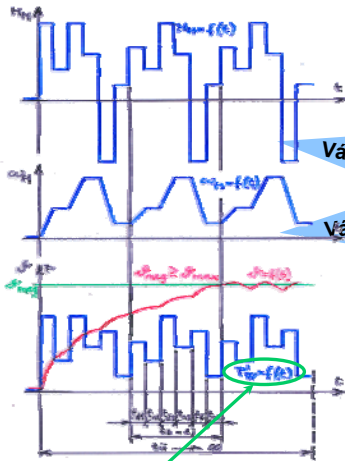
#### 3.8 Villamos motorok kiválasztási módszerei

##### 3.8.2 Állandó üzemű motorok (S6, S7, S8, S9) kiválasztása

Közös jellegzetesség:

- az üzemidő nincs korlátozva ( $t_{ü} \rightarrow \infty$ )
- a motor állandóan forog névleges v. állandó fordulatszámmal

Kiválasztás: **EGYENÉRTÉKŰ VESZTESÉG** módszerével



Változik a terhelés  
Változik a fordulatszám

Probléma: nem tudjuk közvetlenül  $P_m$ -et ill.  $P_n$ -et meghatározni EZÉRT

MOTORKIVÁLASZTÁS korábbi üzemeltetési tapasztalatok illetve előzetes számítások alapján

Ismerni kell: az S1 névleges üzemhez tartozó

**KIVÁLASZTOTT MOTOR ELLENŐRZÉSE**



- veszteségösszetevőket ( $P_{tn}$ ;  $P_{vn}$ ;  $P_{(s+v)n}$ )
  - mértékadó (redukált) veszteséget
- $$P'_{wn} = P_{tn} + k_v \cdot P_{vn} + k_s \cdot P_{(s+v)n}$$

$P'_w(t)$  számítása az adatok és a veszteségösszetevők változásának ismeretében

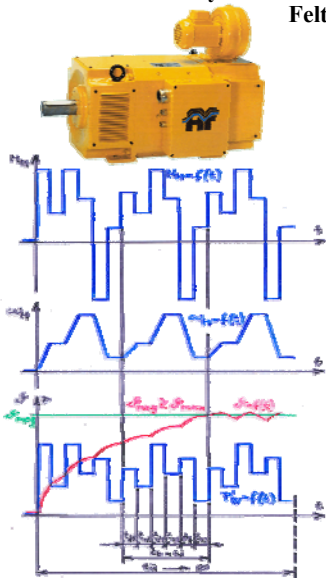
### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

#### 3.8 Villamos motorok kiválasztási módszerei

##### 3.8.2 Állandó üzemű motorok (S6, S7, S8, S9) kiválasztása

A. Hűtési viszonyok minden szakaszban azonosak ( $R_h = \text{áll.}$ )

Feltétel: • egyes terhelési szakaszok ciklusideje a motor melegedési időállandójához képest kicsi  
(gyakorlatilag mindig teljesülő feltétel:  $T_C/T \leq 0,3$ )



A gép túlmelegedése az egyes szakaszokban nem tér el nagymértékben a teljes terhelési ciklusra vonatkozó átlagos ( $\vartheta_k$ ) túlmelegtől.

$\vartheta_k$  arányos a **ciklus közepes mértékadó veszteségével** ( $P'_{wk}$ ).

Egyenletesen terhelt gépben ( $P'_{wk}$ )  $T_C$  idő alatt képződő veszteségi energia, amely az átlagos ( $\vartheta_k$ ) túlmeleget hozza létre

Az egyes szakaszokban képződő veszteségi energiák összege, amelyek a gép túlmelegedését hozzák létre.

$$P'_{wk} \cdot T_C = \int_0^{T_C} P'_w(t) dt$$

$$P'_{wk} = \frac{1}{T_C} \int_0^{T_C} P'_w(t) dt$$

Adott hajtási feladat ellátására a motor megfelelő, ha:

$$P'_{wn} \geq (1,1 \dots 1,2) P'_{wk}$$

### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

#### 3.8 Villamos motorok kiválasztási módszerei

##### 3.8.2 Állandó üzemű motorok (S6, S7, S8, S9) kiválasztása

B. Hűtési viszonyok az egyes szakaszokban változnak



Pl. ha a gépnek saját szellőzése van,  
a hőátadási tényező függ a fordulatszámától



Hűtési redukciós tényező:  $\alpha_t = \frac{h(t)}{h_n}$



Redukált ciklusidő: a változó szögsebességű és hűtési tényezőjű időtartamokat névleges szögsebességre számítjuk át:

$$T'_C = \int_0^{T_C} \alpha(t) dt = \alpha_1 t_1 + \alpha_2 t_2 + \dots + \alpha_z t_z$$



A redukált ciklusidő alatt a névleges hűtési viszonyokkal ugyanannyi a hőleadás, mint  $T_C$  alatt a valóságosokkal:

$$P'_{wk} T'_C = \int_0^{T_C} P'_w(t) dt \quad \Rightarrow \quad P'_{wk} = \frac{1}{T'_C} \int_0^{T_C} P'_w(t) dt$$



### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

#### 3.8 Villamos motorok kiválasztási módszerei

##### 3.8.2 Állandó üzemű motorok (S6, S7, S8, S9) kiválasztása

###### C. Megjegyzések

- A legtöbb tervezési feladatnál a ciklusidőn belül a  $P'_w(t)$  ugrásszerűen változik, de szakaszonként állandó

INTEGRÁLSZÁMÍTÁS  $\Rightarrow$  SÚLYOZOTT ÁTLAG SZÁMÍTÁS

$$P'_{wk} = \frac{1}{T_C} \int_0^{T_C} P'_w(t) dt = \frac{\sum_{x=1}^z P'_{wx} t_x}{\sum_{x=1}^z t_x} = \frac{P'_{w1} t_1 + P'_{w2} t_2 + \dots + P'_{wz} t_z}{t_1 + t_2 + \dots + t_z}$$

$$P'_{wk} = \frac{1}{T'_C} \int_0^{T'_C} P'_w(t) dt = \frac{\sum_{x=1}^z P'_{wx} t_x}{\sum_{x=1}^z t'_x} = \frac{P'_{w1} t_1 + P'_{w2} t_2 + \dots + P'_{wz} t_z}{\alpha_1 t_1 + \alpha_2 t_2 + \dots + \alpha_z t_z}$$

- $\alpha$  gyakorlati értéke
  - névleges fordulatszámnál  $\alpha = 1$
  - álló állapotban  $\alpha \approx 0,5$
  - indítás és fékezés esetén  $\alpha \approx 0,75$
- Egyenértékű veszteség módszer hátrányai:
  - előzetes kiválasztáshoz tapasztalat szükséges
  - ismerni kell a motor veszteségeinek eloszlását a különböző állapotokban

### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

#### 3.8 Villamos motorok kiválasztási módszerei

##### 3.8.2 Állandó üzemű motorok (S6, S7, S8, S9) kiválasztása

###### D. Egyenértékű áram módszere

- Feltétel:
- a veszteség tekercs és vasvesztéséből áll:  $P'_w(t) = P_t(t) + k_v \cdot P_v = C \cdot I^2(t) + k_v \cdot P_v$
  - a vasvesztés állandó:  $k_v \cdot P_v \cong \text{állandó}$

$$P'_w(t) \sim I^2(t)$$

$$P'_{wk} \sim I_e^2$$

Melegedés szempontjából egyenértékű áram:

- szakaszonként állandó áramoknál:

$$I_e^2 T_C = \int_0^{T_c} I^2(t) dt \Rightarrow I_e = \sqrt{\frac{1}{T_c} \int_0^{T_c} I^2(t) dt} = \sqrt{\frac{\sum_{x=1}^z I_x^2 t_x}{\sum_{x=1}^z t_x}} = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \dots + I_z^2 t_z}{t_1 + t_2 + \dots + t_z}}$$

- saját szellőzésű motoroknál:

$$I_e^2 T'_C = \int_0^{T_c} I^2(t) dt \Rightarrow I_e = \sqrt{\frac{1}{T'_c} \int_0^{T_c} I^2(t) dt} = \sqrt{\frac{\sum_{x=1}^z I_x^2 t_x}{\sum_{x=1}^z t'_x}} = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \dots + I_z^2 t_z}{\alpha_1 t_1 + \alpha_2 t_2 + \dots + \alpha_z t_z}}$$

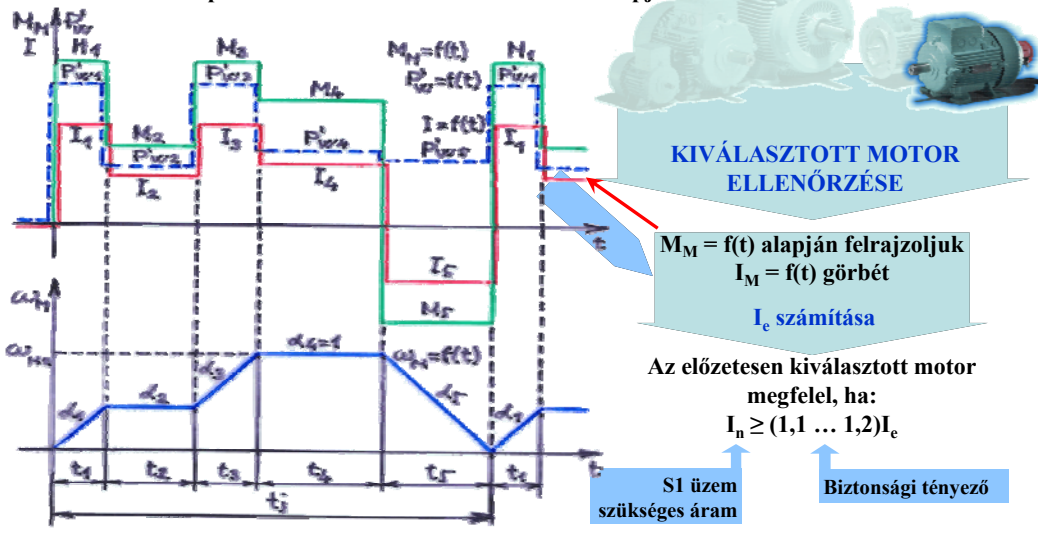
### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

#### 3.8 Villamos motorok kiválasztási módszerei

##### 3.8.2 Állandó üzemű motorok (S6, S7, S8, S9) kiválasztása

###### D. Egyenértékű áram módszere – kiválasztási eljárás

MOTORKIVÁLASZTÁS: korábbi üzemeltetési tapasztalatok illetve előzetes számítások alapján



### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

#### 3.8 Villamos motorok kiválasztási módszerei

##### 3.8.2 Állandó üzemű motorok (S6, S7, S8, S9) kiválasztása

###### E. Egyenértékű nyomaték módszere

Feltétel: a motor fluxusa üzem közben jó közelítéssel állandó (pl. aszinkron, külső- és söntgerjesztésű egyenáramú motorok).  $\Rightarrow M \sim I$

$$M_e = \sqrt{\frac{1}{T'_C} \int_0^{T_C} M^2(t) dt} = \sqrt{\frac{\sum_{x=1}^z M_x^2 t_x}{\sum_{x=1}^z t'_x}} = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2 + \dots + M_z^2 t_z}{\alpha_1 t_1 + \alpha_2 t_2 + \dots + \alpha_z t_z}}$$

Soros gerjesztésű motornál ( $M \sim I^2$ ):

$$M_e = \frac{1}{T'_C} \int_0^{T_C} M^2(t) dt = \frac{\sum_{x=1}^z M_x^2 t_x}{\sum_{x=1}^z t'_x} = \frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2 + \dots + M_z^2 t_z}{\alpha_1 t_1 + \alpha_2 t_2 + \dots + \alpha_z t_z}$$

Kiválasztási eljárás: az előzetesen kiválasztott motor alkalmazásának feltétele:

$$M_n \geq (1,1 \dots 1,2) M_e$$

A kiválasztott motor  
S1 üzemi névleges nyomatéka

Biztonsági tényező

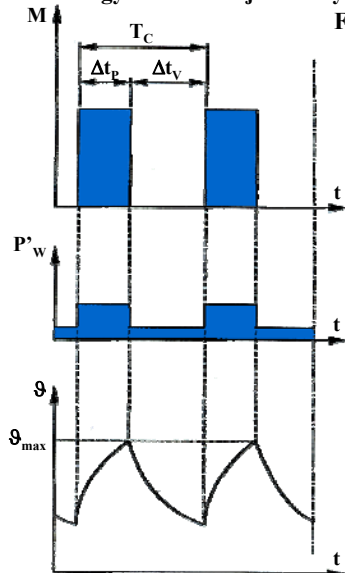


### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

#### 3.8 Villamos motorok kiválasztási módszerei

##### 3.8.2 Állandó üzemű motorok (S6, S7, S8, S9) kiválasztása

###### F. Egyenértékű teljesítmény módszere



Feltétel:

Söntjellegű motoroknál:

- üzem közben csak a terhelés változik  $\Rightarrow P \sim M$
- szögsebesség közel állandó (pl. S6)

$$P_e = \sqrt{\frac{1}{T_C} \int_0^{T_C} P^2(t) dt} = \sqrt{\frac{\sum_{x=1}^z P_x^2 t_x}{\sum_{x=1}^z t_x}} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + \dots + P_z^2 t_z}{\alpha_1 t_1 + \alpha_2 t_2 + \dots + \alpha_z t_z}}$$

$$P_n \geq (1,1 \dots 1,2) P_e$$

A kiválasztott motor S1 üzemi névleges teljesítménye

Biztonsági tényező

### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

#### 3.8 Villamos motorok kiválasztási módszerei

##### 3.8.2 Állandó üzemű motorok (S6, S7, S8, S9) kiválasztása

###### G. Ellenőrzés maximális terhelőnyomaték szempontjából

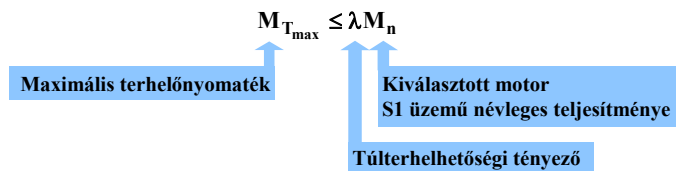
Túlterhelhetőségi tartalék:  $\lambda = \frac{M_B}{M_n}$

értéke: szinkron motoroknál: 1,4 ... 1,8  
aszinkron motoroknál: 2,0 ... 3,5

A gyári katalógusok általában S1 üzemtípusra adják meg a motorok paramétereit.  
Az S1-től eltérő üzemtípusoknál túlterhelés léphet fel.



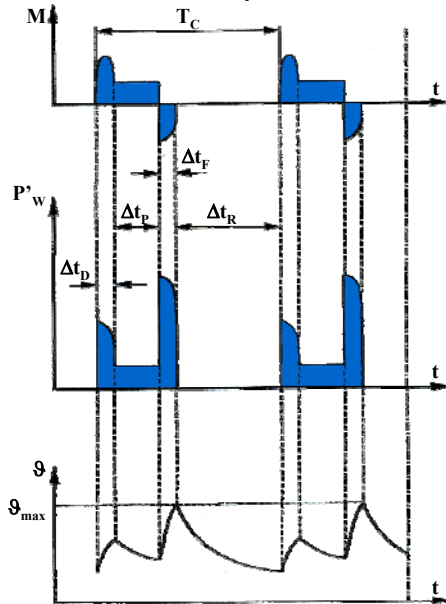
Egyenértékű áram-, nyomaték-, teljesítmény módszerek alapján kiválasztott motort  
**ELLENŐRIZNI** kell maximális terhelőnyomaték szempontjából:



### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

#### 3.8 Villamos motorok kiválasztási módszerei

##### 3.8.3 Szakaszos periodikus üzemi motorok (S3, S4, S5) kiválasztása



Közös jellegzetesség:

- az üzem üzemidő nincs korlátozva ( $t_{ü} \rightarrow \infty$ )
- a motor ciklikusan bekapcsolt, ill. kikapcsolt állapotban van, különbség csak az **átmeneti folyamatok** figyelembevételénél van

Az indításnak és fékezésnek a motor melegedésére gyakorolt hatása nem hanyagolható el.

Ilyen esetekben a  $M_d$  igény sokkal nagyobb, mint az állandósult állapothoz tartozó  $M_r$ , → különösen, ha  $\Theta_r$  nagy.

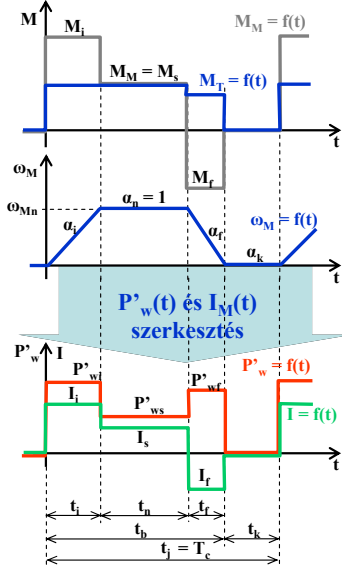
A kiválasztandó motor teljesítményét lényegében a **menetdiagram** és a  $\Theta_r$  határozza meg

### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

#### 3.8 Villamos motorok kiválasztási módszerei

##### 3.8.3 Szakaszos periodikus üzemű motorok (S3, S4, S5) kiválasztása

Kiválasztási eljárás:



$M_T = f(t)$  és  $\omega_M = f(t)$  ismeretében előzetes motor + szükséges ÁTTÉTEL kiválasztása



Ismert:  
• motor paraméterek  
• áttétel paraméterek

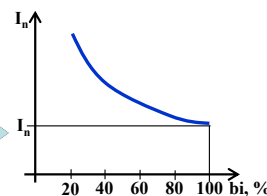
$$M_M - M_t = \Theta_r \cdot \frac{d\omega_M}{dt} \Rightarrow M_M = M_t + \Theta_r \cdot \frac{d\omega_M}{dt}$$

alapján megrajzoljuk  $M_M(t)$ -t.

$$P'_{wk} = \frac{1}{t'_b} \int_0^{t_b} P'_{w'}(t) dt = \frac{P'_{wi} t_i + P'_{ws} t_n + P'_{wf} t_f}{\alpha_i t_i + \alpha_n t_n + \alpha_f t_f}$$

$$I_e = \sqrt{\frac{1}{t'_b} \int_0^{t_b} I^2(t) dt} = \sqrt{\frac{I_i^2 t_i + I_s^2 t_n + I_f^2 t_f}{\alpha_i t_i + \alpha_n t_n + \alpha_f t_f}}$$

A kiválasztott motor megfelelő, ha  $I_n \geq (1,1 \dots 1,2) I_e$

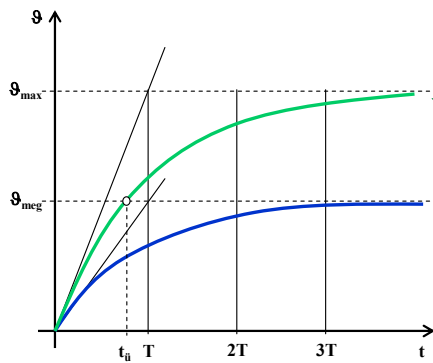


### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

#### 3.8 Villamos motorok kiválasztási módszerei

##### 3.8.4 Rövid üzemidejű motorok (S2) kiválasztása

Rövid ideig tartó üzemen (ha  $t_{\text{ü}} < 2T$ ) a motor az állandó üzemi (S1) névleges teljesítménynél – termikus szempontból – jobban terhelhető, mivel a hőmérséklete nem éri el állandósult értékét.



$P_r > P_n$  teljesítményhez tartozó  $P'_{wr}$  veszteséggel üzemeltetve a gépet, az S1 üzemen

$\Theta_{\text{max}} = \sigma \Theta_{\text{meg}}$  túlmelegedést okozna.

S2-ben üzemeltetve  $t_{\text{ü}}$  időpontban  $\Theta_{\text{meg}}$ -nél le kell kapcsolni  $t_k$  időtartamra.

$P_n$ -hez (S1-es üzemi névleges teljesítményhez)

tartozó  $P'_{wn}$  mértékadó veszteség éppen

$\Theta_{\text{meg}}$  túlmelegedést hoz létre.

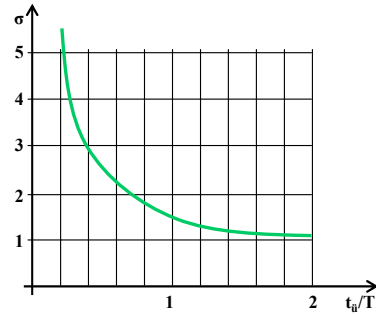
### 3. VILLAMOS MOTOROK ALKALMAZÁSÁNAK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

#### 3.8 Villamos motorok kiválasztási módszerei

##### 3.8.4 Rövid üzemidejű motorok (S2) kiválasztása

Határozzuk meg  $\sigma$  és  $t_{\bar{u}}$  közötti összefüggést, adott időállandó (adott  $R_h$ ) esetén:

$$\left. \begin{aligned} \sigma &= \frac{\vartheta_{\max}}{\vartheta_{\text{meg}}} = \frac{R_h \cdot P'_{\text{wr}}}{R_h \cdot P'_{\text{wn}}} = \frac{P'_{\text{wr}}}{P'_{\text{wn}}} \\ \vartheta_{\text{meg}} &= \vartheta_{\max} \cdot (1 - e^{-t_{\bar{u}}/T}) \end{aligned} \right\} \sigma = \frac{1}{1 - e^{-t_{\bar{u}}/T}} = \frac{P'_{\text{wr}}}{P'_{\text{wn}}}$$



Lineáris közelítéssel ( $e^{-x} \approx 1-x$  sorbaféjtéssel):

$$\sigma = \frac{P'_{\text{wr}}}{P'_{\text{wn}}} \cong \frac{T}{t_{\bar{u}}} \Rightarrow P'_{\text{wr}} \cdot t_{\bar{u}} \cong P'_{\text{wn}} \cdot T$$

$P_r$  (rövid ideig tartó teljesítmény) meghatározása:

- Ha  $U_k = c$  és  $n = c$  (pl. aszinkron motor), akkor csak  $P_{\text{tekeres}}$  változik a terhelés növekedésekor.

Legyen:  $P_r = \xi \cdot P_{\text{tn}}$ , akkor  $\sigma = \frac{P'_{\text{wr}}}{P'_{\text{wn}}} = \frac{\xi^2 \cdot P_{\text{tn}} + k_v \cdot P_{\text{vn}}}{P_{\text{tn}} + k_v \cdot P_{\text{vn}}} \Rightarrow \xi = \sqrt{\sigma + k_v(\sigma - 1) \frac{P_{\text{vn}}}{P_{\text{tn}}}}$