

# KOČENJE U ELEKTROMOTORNOM POGONU

## **Kočenje služi za:**

- smanjivanje brzine sa većim koeficijentom usporenja nego kod prirodnog usporavanja
- držanje pogona u stanju mirovanja

## **Postoje dve vrste kočenja:**

- 1) **Mehaničko kočenje**, upotrebom mehaničkih kočnica,
- 2) **električno kočenje**, motor razvija moment koji deluje u suprotnom smeru od smera obrtanja.

# Mehaničke kočnice



# Mehaničke kočnice





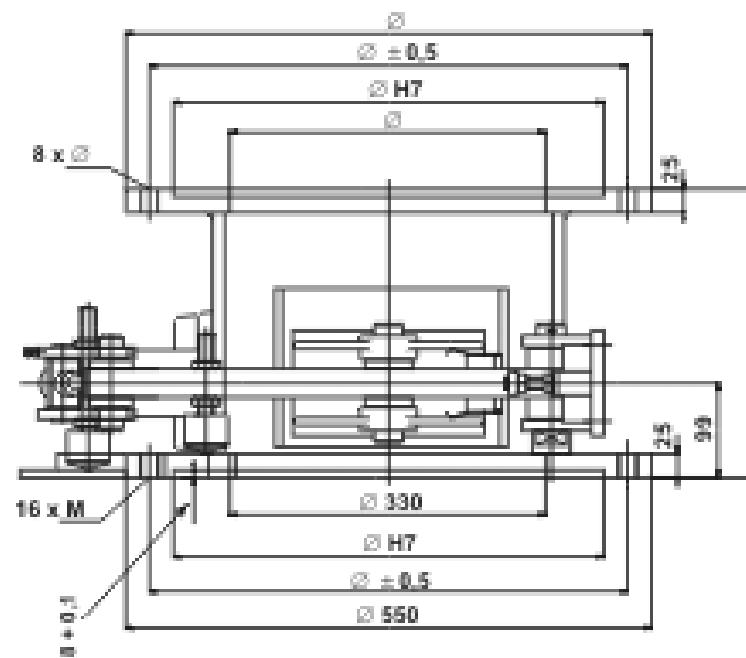
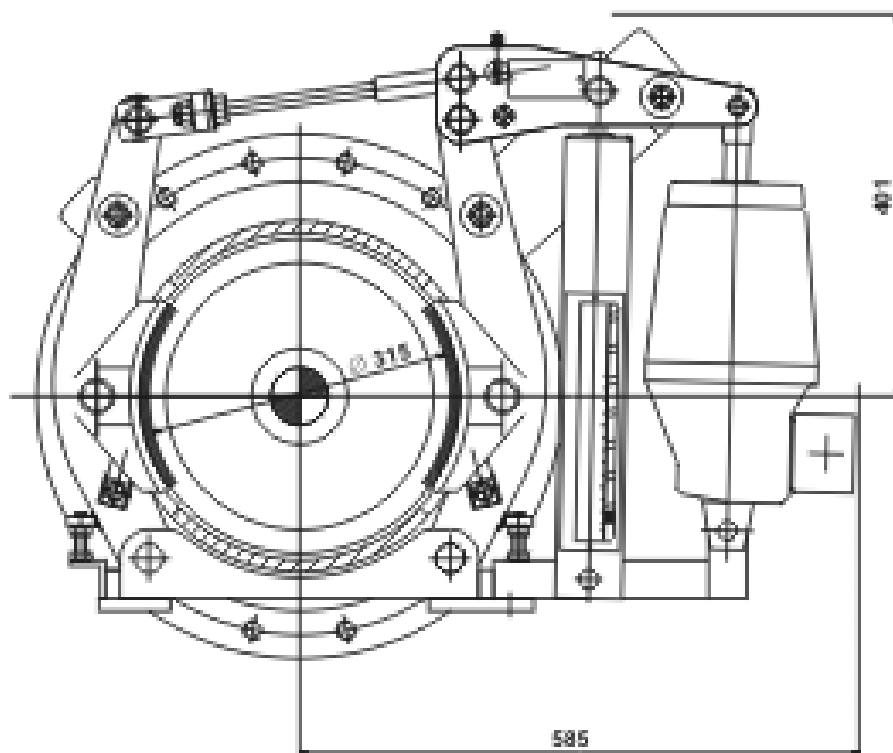
# Mehaničke kočnice



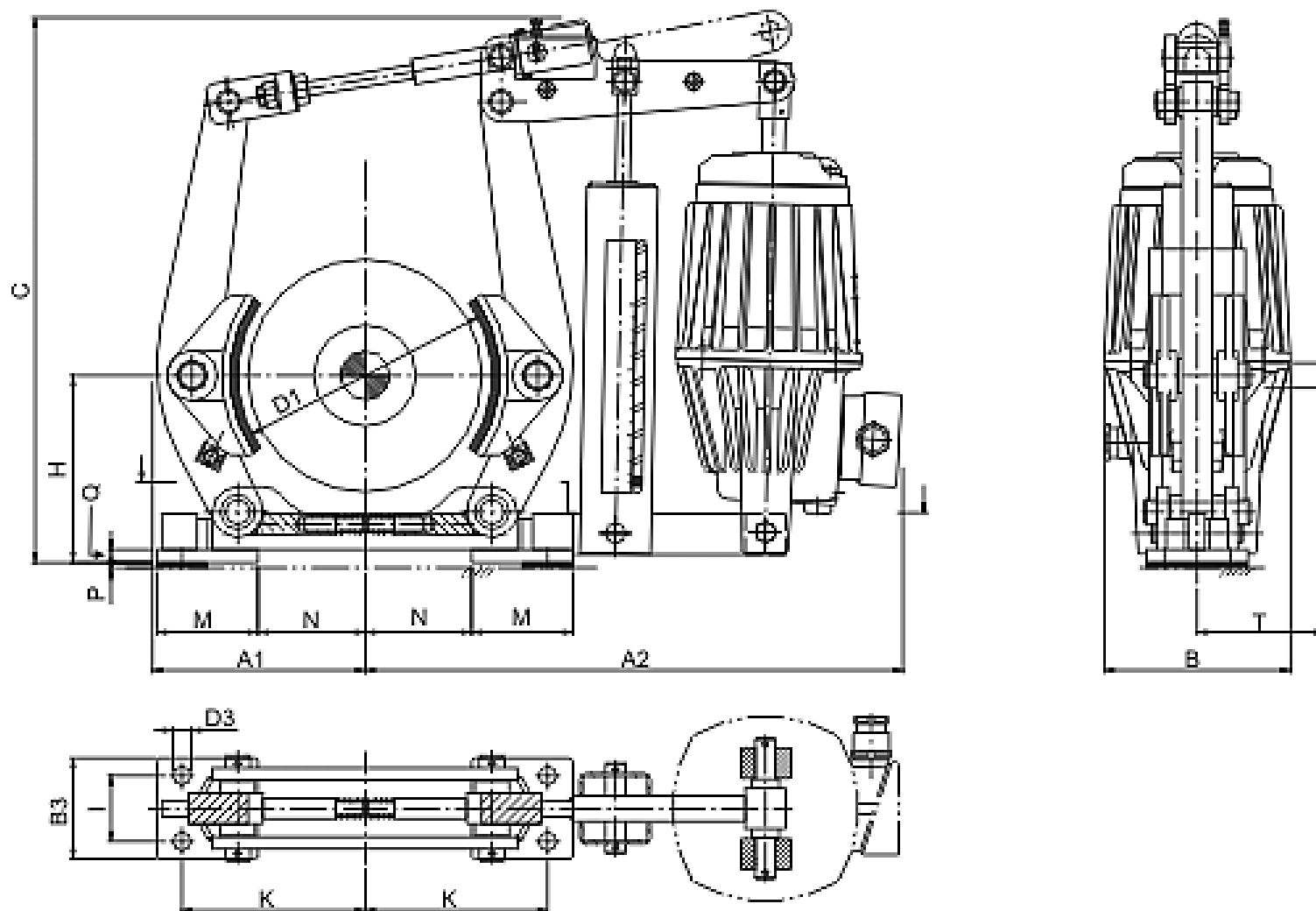
# Mehaničke kočnice



# Mehaničke kočnice



# Mehaničke kočnice



# ELEKTRIČNO KOČENJE MOTORA JEDNOSMERNE STRUJE SA NEZAVISNOM POBUDOM

Tri vrste kočenja:

1. Rekuperativno;
2. Protivstrujno (dva načina);
3. Dinamičko (reostatsko)

Zajedničko za sva kočenja je da mašina (motor) menja ulogu, odnosno radi kao generator, pretvara mehaničku energiju u električnu.

Navedena kočenja se razlikuju po načinu realizacije i po tome kako se troši dobijena električna energija.



# REKUPERATIVNO KOČENJE

Polazeći od relacije:  $\omega = \frac{u_a}{\psi_f} - \frac{R_a}{\psi_f^2} m_e$

N:

$$\Delta\omega = \omega_0 - \omega = \frac{R_a}{\psi_f^2} m_e$$

dobija se:

$$m_e = \left( \psi_f^2 / R_a \right) \cdot \Delta\omega \quad / \quad \cdot \omega > 0$$

Mehanička snaga na vratilu mašine je:

$$m_e \cdot \omega = \left( \psi_f^2 / R_a \right) \cdot \Delta\omega \cdot \omega$$

i biće negativna samo ako je  $\Delta\omega < 0$ , odnosno ako je  $\omega > \omega_0$  !!

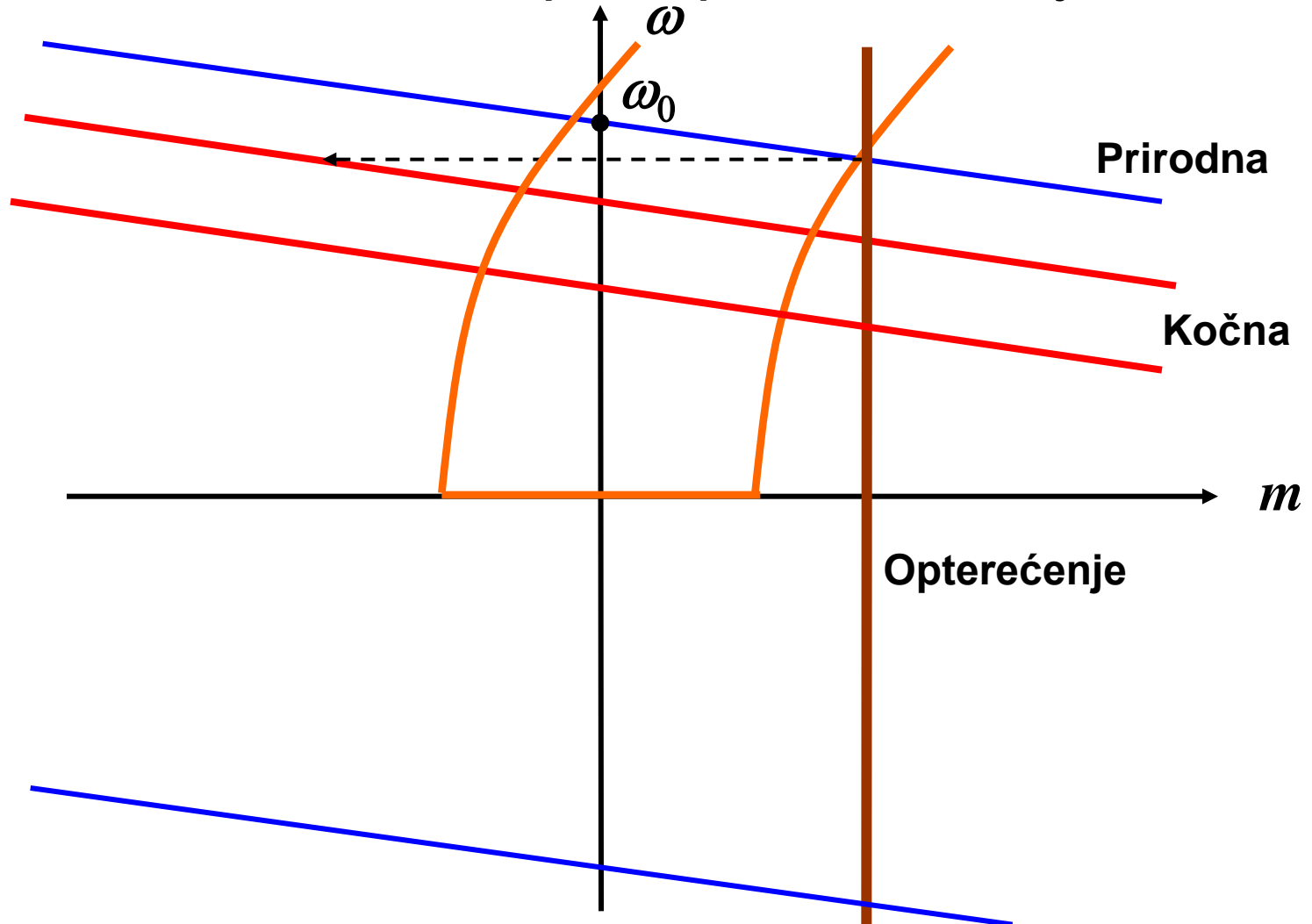
Rekuperativno kočenje se ostvaruje u drugom kvadrantu.

Na sličan način se može pokazati da se generatorski režim za

negativne brzine ( $\omega < 0$ ) ima kada je  $\omega < \omega_0$

odnosno:  $|\omega| > |\omega_0|$

## Statičke karakteristike pri rekuperativnom kočenju



- Odlikuje se vraćanjem generisane energije u izvor napajanja motora. Rekuperativno kočenje nastaje onda kada snaga jednosmernog izvora promeni znak (ili  $u_a$  ili  $i_a$ ).
- Može da se primeni samo onda kada radna mašina može biti izvor energije, npr. potencijalna energija tereta ili vozila ili kinetička energija obrtnih masa. Pored toga izvor jednosmerne struje mora da bude reverzibilan.

Zbog promenjenog toka energije (mašina radi u generatorskom režimu), snage menjaju algebarski predznak (postaju negativne).

Polazeći od naponske jednačine za kolo indukta,

$$u_a = e + R_a \cdot i_a \quad / \cdot i_a < 0$$

dobijamo:

$$u_a \cdot i_a = e \cdot i_a + R_a \cdot i_a^2$$

Snaga vraćena u mrežu (negativna u toku kočenja)

Razvijena snaga (negativna u toku kočenja)

Džulova snaga (uvek pozitivna)

## Realizacija

1. slučaj: kad brzina po apsolutnoj vrednosti postane veća od brzine praznog hoda (kolica na nizbrdici, spuštanje tereta kod dizalice);
2. slučaj: kada se brzina praznog hoda smanji ispod trenutne brzine.

$$\omega_0 = \frac{u_a}{\psi_f} \leftarrow \text{ smanjivanje napona za } \psi_f = \psi_{fn} = \text{const.}$$
$$\psi_f \leftarrow \text{ povećanje } \psi_f \text{ do } \psi_{fn}, \text{ za } u_a = u_{an} = \text{const.}$$

## **Osobine:**

- ekonomično;
- ne zahteva posebnu opremu;
- može se ostvariti samo kad se steknu potrebni uslovi.

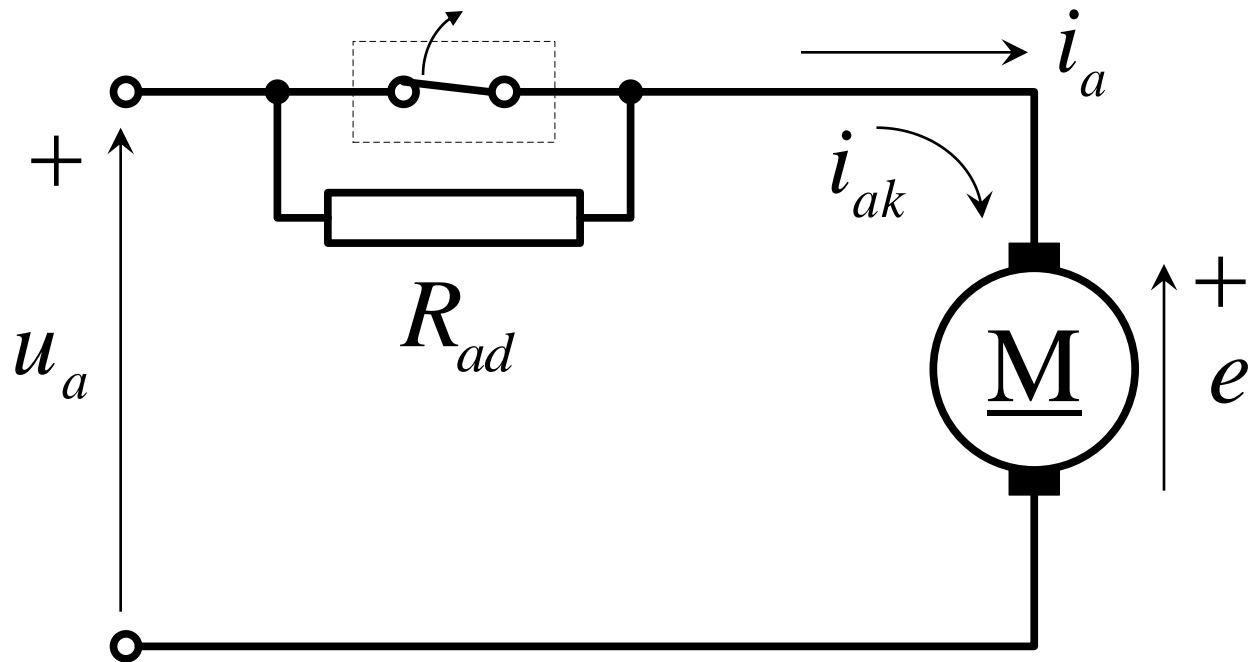
## **Primena:**

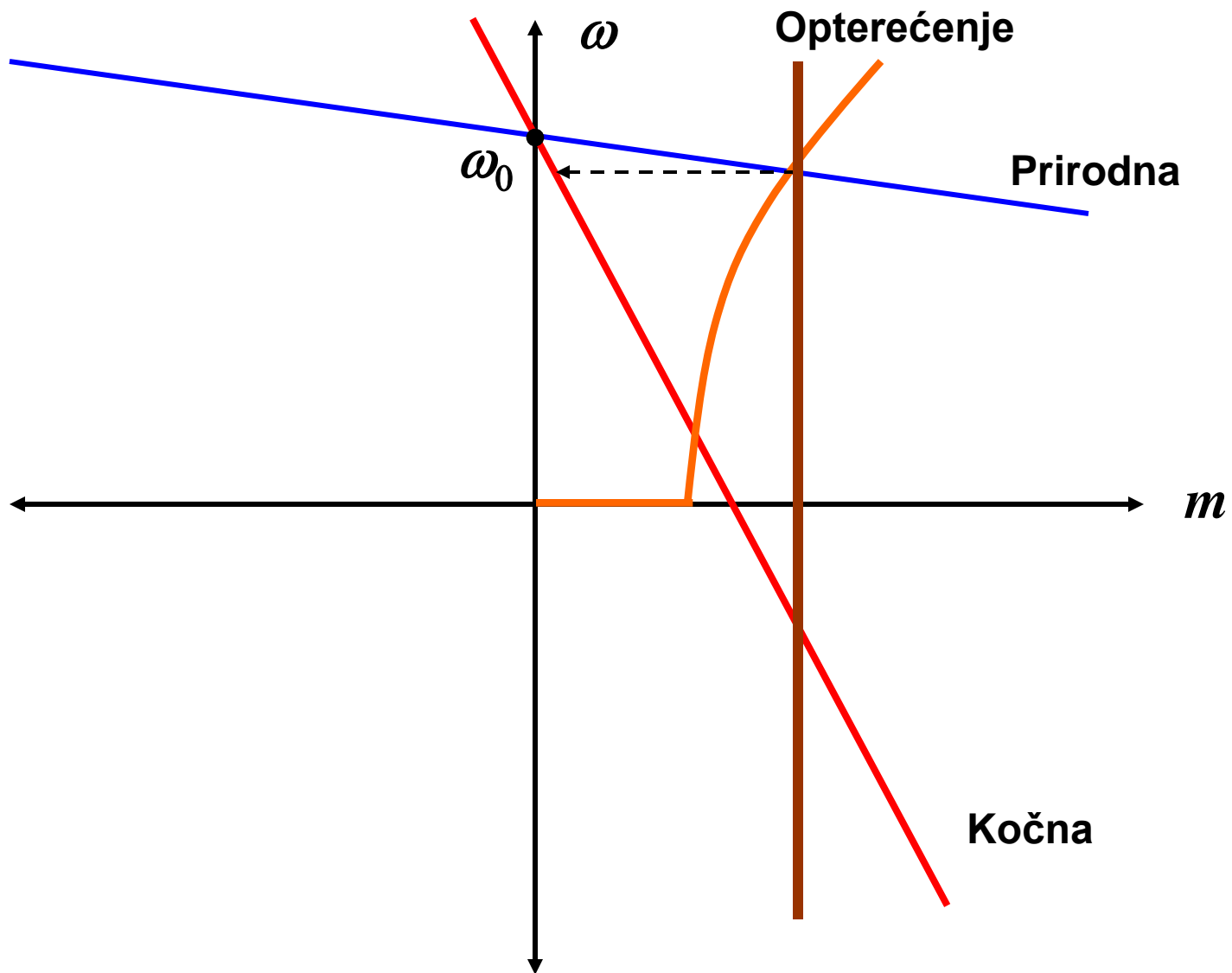
**Kod električnih vozila i dizalica, i u regulisanom pogonu kod promena brzine.**



# PROTIVSTRUJNO KOČENJE – Prvi način

Prvi način, bez prevezivanja indukta  $(u_a > 0 \Rightarrow \omega_0 > 0)$





**Mehanička snaga =** 
$$p_m = m_e \cdot \omega = \left( \psi_f^2 / R_a \right) \cdot \omega \cdot \Delta\omega$$

**je negativna ako je  $\Delta\omega > 0$ , a  $\omega < 0$ . Iz ove dve nejednačine sledi:**

$$\Delta\omega > \omega_0$$

**Ovakav režim ima se u IV kvadrantu, a može se ostvariti dodavanjem (velikog) otpora na red sa induktom.**

**Bilans snaga:**

**N:** 
$$\omega = \frac{u_a}{\psi_f} - \frac{R_a + R_{ad}}{\psi_f^2} m_e \quad / \cdot m_e$$

$$u_a \cdot i_a - m_e \cdot \omega = (R_a + R_{ad}) \cdot i_a^2$$

**Snaga izvora + meh. snaga = Džulova snaga !!!!!**

$$u_a = e + (R_a + R_{ad}) \cdot i_a \quad / \cdot i_a$$

$$u_a \cdot i_a = \psi_f \cdot \omega \cdot i_a + (R_a + R_{ad}) \cdot i_a^2$$

$$u_a \cdot i_a = m_e \cdot \omega + (R_a + R_{ad}) \cdot i_a^2$$

Snaga uzeta iz mreže (pozitivna u toku kočenja)

Razvijena snaga (negativna u toku kočenja)

Džulova snaga (uvek pozitivna)

dobijamo:

$$u_a \cdot i_a - m_e \cdot \omega = (R_a + R_{ad}) \cdot i_a^2$$

$\begin{matrix} >0 & <0 & >0 \\ & \underbrace{\hspace{2cm}} & \\ & >0 & \end{matrix}$

**Snaga izvora + meh. snaga = Džulova snaga !!!!!**



## **Osobine:**

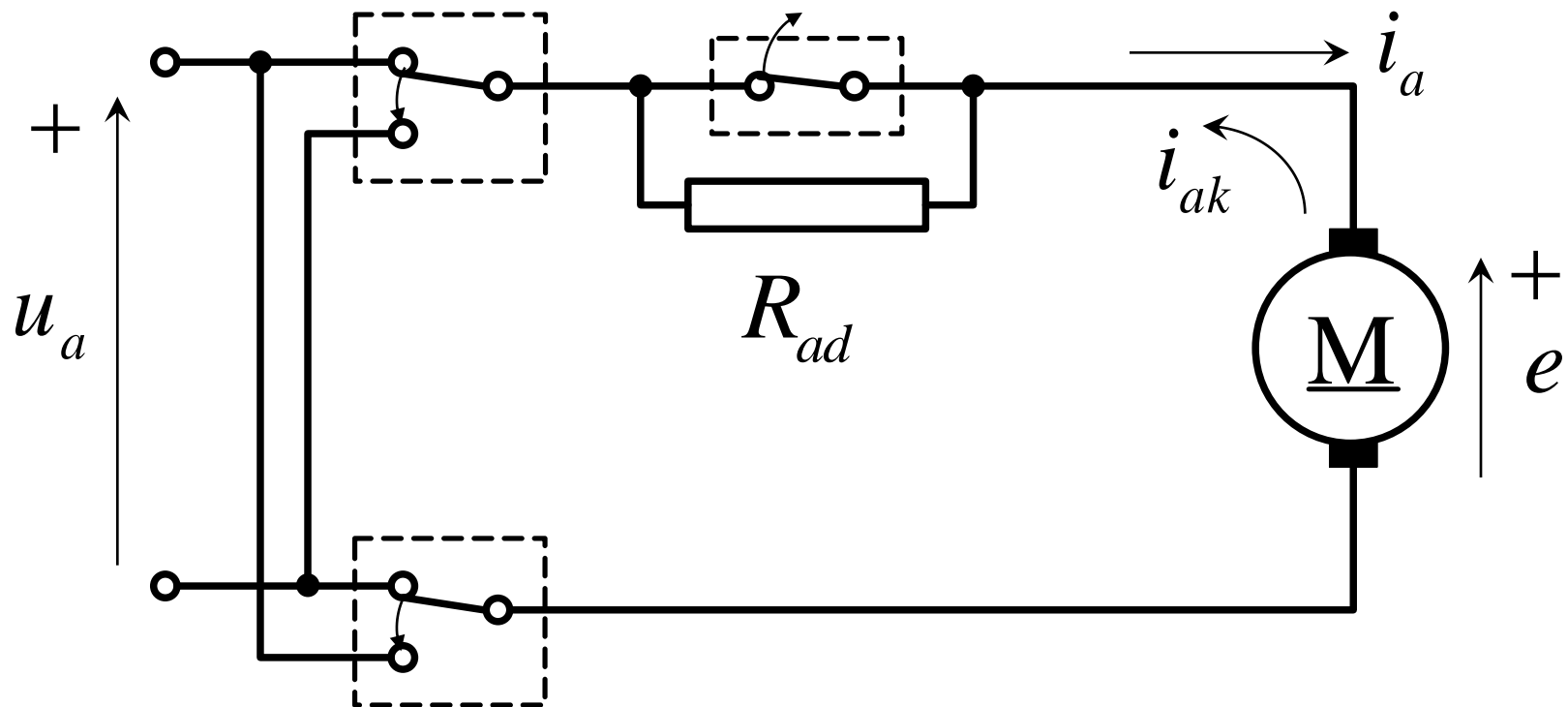
- **velika razvijena toplotna energija;**
- **potrebna dodatna oprema (otpornici);**
- **efikasno kočenje !**

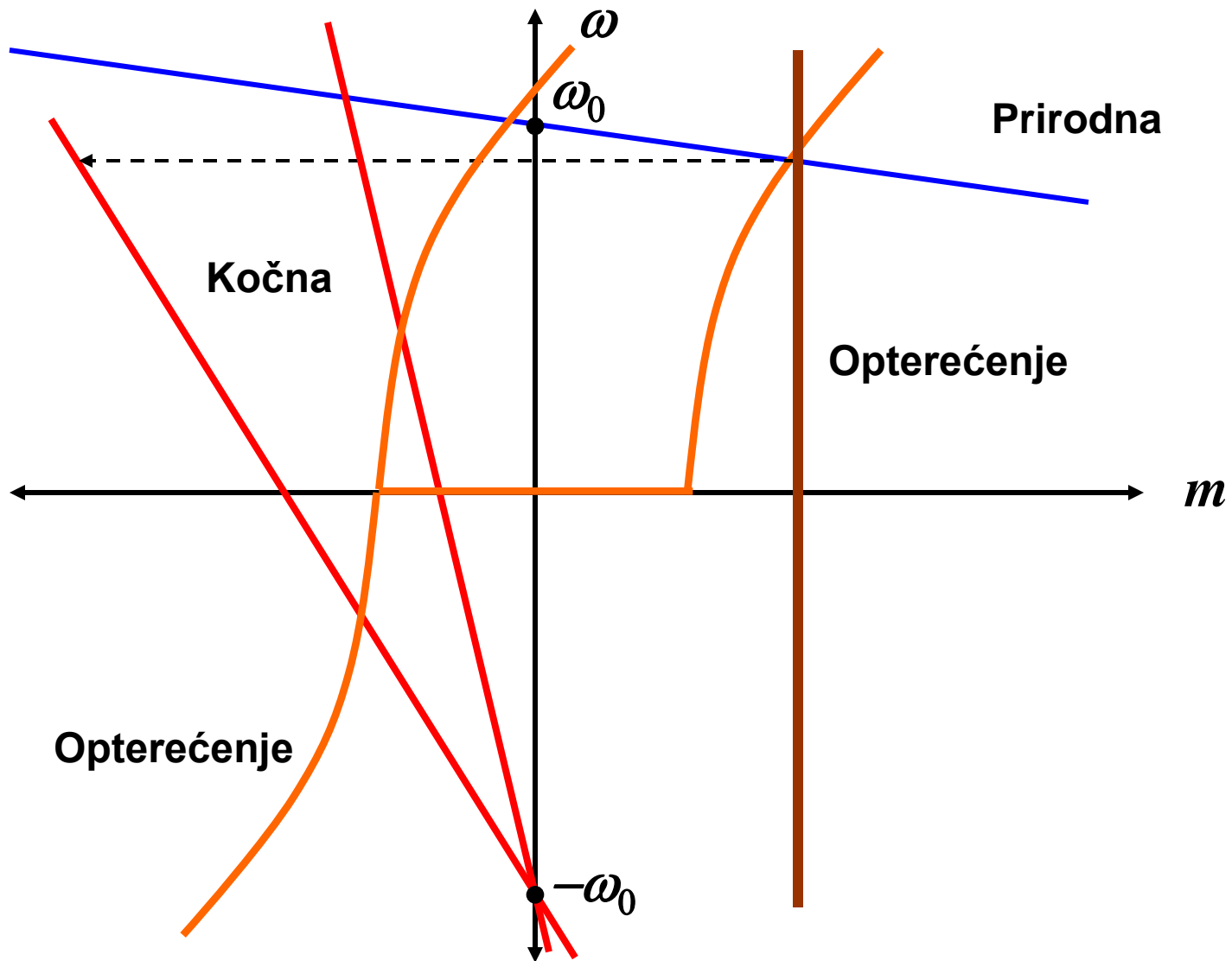
## **Primena:**

**Kod dizalica za spuštanje stalnom brzinom.**

## PROTIVSTRUJNO KOČENJE – Drugi način

Drugi način, sa prevezivanjem indukta ( $u_a < 0 \Rightarrow \omega_0 < 0$ )





**Mehanička snaga**  $p_m = m_e \cdot \omega < 0$

**ako je:**

$$\Delta\omega < 0, \text{ a } \omega > 0$$

**sledi da je:**

$$\Delta\omega < \omega_0$$

**jer je**  $\omega_0 < 0$

$$|\Delta\omega| > |\omega_0|$$



Ovakav režim ima se u II kvadrantu, a ostvaruje se dodavanjem (velikog) otpora na red sa induktom.

Prethodno su krajevi indukta prevezani !!

Bilans snaga je isti kao i u prethodnom slučaju, ali je:

$$u_a < 0, i_a < 0, m_e < 0, \omega > 0.$$

$$u_a \cdot i_a - m_e \cdot \omega = \underbrace{(R_a + R_{ad})}_{>0} \cdot i_a^2$$

$\begin{matrix} >0 & & <0 & & >0 \\ & \underbrace{\hspace{2cm}} & & & \\ & >0 & & & \end{matrix}$

**Snaga izvora + meh. snaga = Džulova snaga !!!!!**

## **Osobine**

- najefikasnije kočenje!
- revers

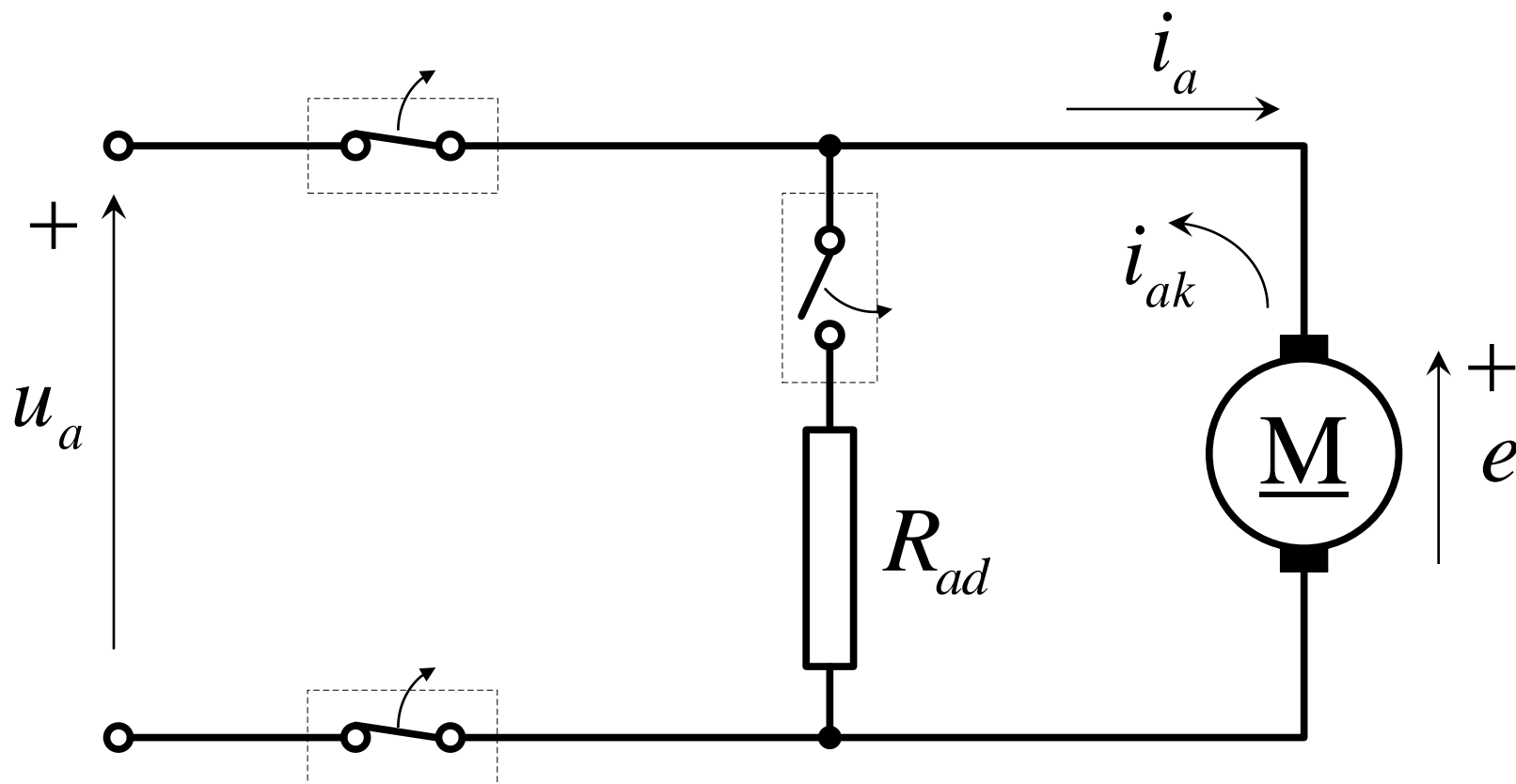
## **Primena:**

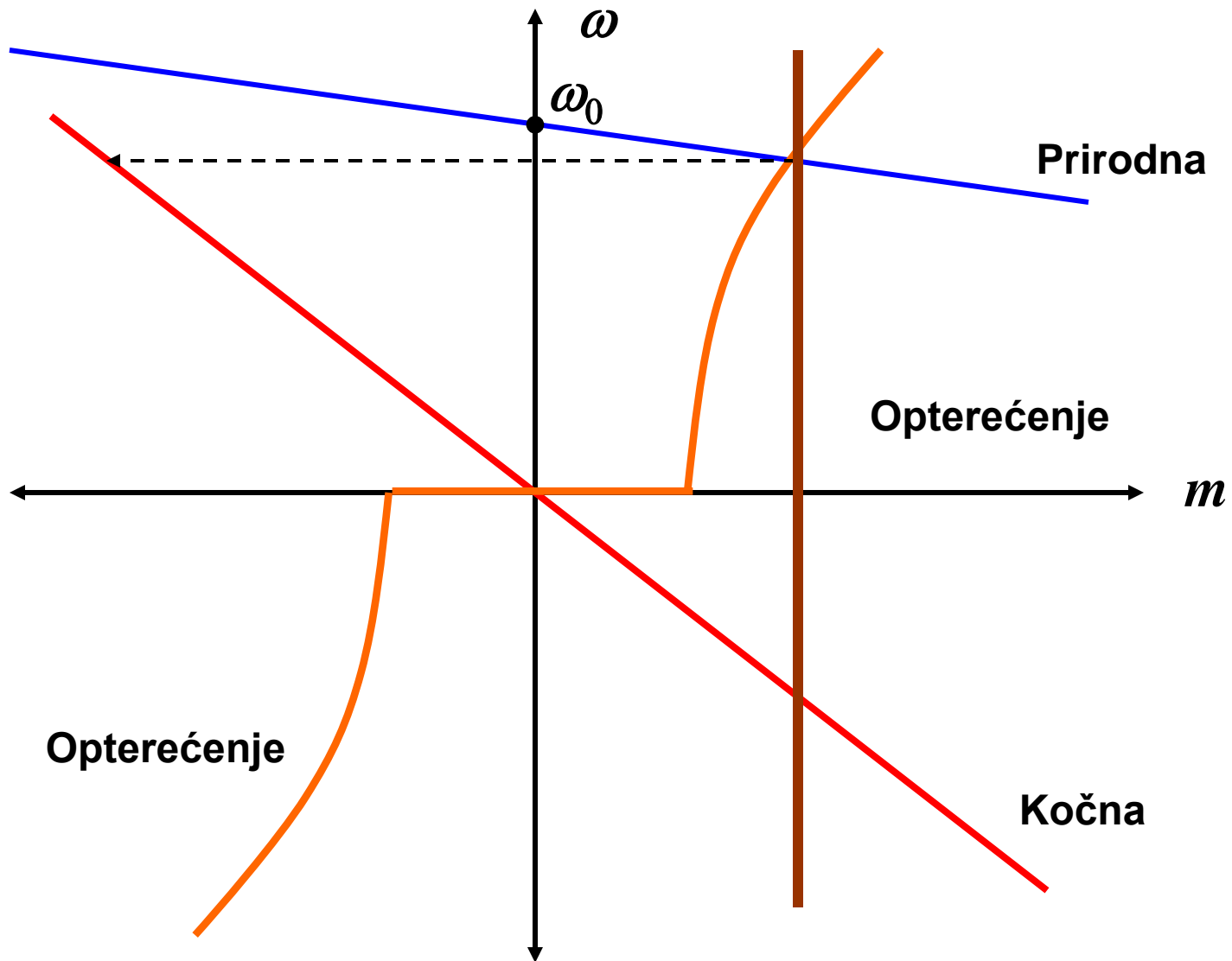
**Za nagla kočenja pogona koji radi u I kvadrantu i za kočenje kolica koja su na nizbrdici.**

# DINAMIČKO KOČENJE

Kada se indukt odvoji od izvora i njegovi krajevi spoje preko dodatog otpora važi:

$$u_a = 0$$







**Iz izraza za mehaničku karakteristiku dobija se:**

$$\omega = -\frac{R_a + R_{ad}}{\psi_f^2} m_e$$

**Mehanička karakteristika motora u ovom slučaju leži samo u II i IV kvadrantu i prolazi kroz koordinatni početak.**

**Nagib karakteristike se može podešavati pomoću dodatog otpora.**

Množeći izraz  $\omega(m_e)$  sa  $m_e$  dobija se:

$$m_e \cdot \omega = - (R_a + R_{ad}) \cdot i_a^2$$

Drugi način, iz jednačine indukta:

$$u_a \cdot i_a - m_e \cdot \omega = \underbrace{(R_a + R_{ad})}_{>0} \cdot i_a^2$$

$\underbrace{\quad}_{>0}$   $\underbrace{\quad}_{<0}$

**Mehanička snaga = Džulova snaga !!!!!**

sva mehanička energija se pretvara u toplotu !!

**Iz izvora se ne uzima energija**  $u_a = 0$

## **Osobine:**

- **autonomnost u radu (pobuda?);**
- **dodatna oprema;**
- **mali kočioni momenat pri malim brzinama.**

## **Primena:**

**Zaustavljanje pogona u havarijskim režimima, spuštanje tereta i kočenje vozila na nizbrdici (autonomno).**