

---

Asynchronous Motors

:

Stability

[V]

[ε]

(Voltage collapse)

[V]

[ε]

Critical voltage

[V]

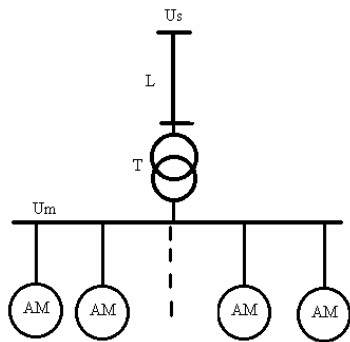
---

(1- )

[1]

[2]

[3]



1-

[V]

:

$$m_d = -T_i \frac{ds}{dt} = m_e - m_{st} \quad (1)$$

$$- m_e \quad \left( \begin{array}{c} - T_i \\ \end{array} \right) \quad - m_{st} \quad - s$$

Period unite

$$m_e = p :$$

: (1)

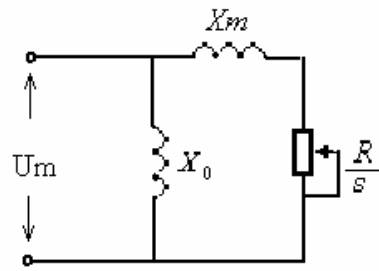
$$T_i \frac{ds}{dt} = -\left(\frac{dp}{dt} - \frac{dm_{st}}{ds}\right)s \quad (2)$$

: Stability criterion

$$\frac{dp}{dt} - \frac{dm_{st}}{ds} > 0 \quad (3)$$

: -

$$p = 3I^2 \frac{R}{s} = \frac{U^2 R s}{x_m^2 s^2 + R^2} \quad (4)$$



( - )

( $\xi$ )

$$\frac{dm_{st}}{ds} = 0 \quad :$$

$m_{st}$

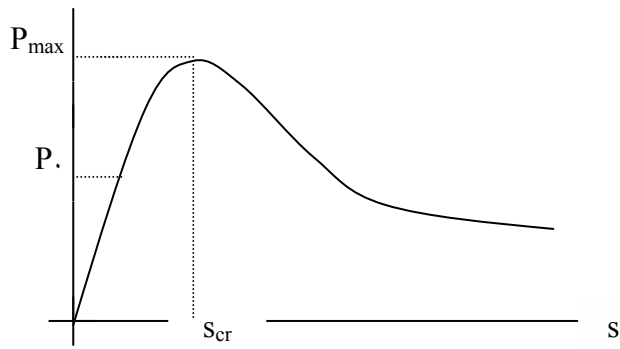
:

$$\frac{dp}{ds} > 0 \quad (5)$$

[1]

( $\gamma -$  )

"



$$P = f(s) \quad \text{r-}$$

s  $\frac{dp}{ds}$   
 $P_{max}$   $s_{cr}$   
 .Critical slip

$$\frac{dp}{ds} = U^2 R \frac{R^2 - x_m^2 s_{cr}^2}{(R^2 + x_m^2 s_{cr}^2)^2} = 0 \quad (6)$$

:  $s_{cr}$   $R^2 - x_m^2 s_{cr}^2 = 0$

---


$$s_{cr} = \frac{R}{X_m} \quad (7)$$

(ε)

$$P_{\max} = \frac{U^2 R s_{cr}}{x_m^2 s_{cr}^2 + R^2} = \frac{U^2 R \frac{R}{x_m}}{x_m^2 \frac{R^2}{x_m^2} + R^2} = \frac{U^2}{2x_m} \quad (8)$$

$P_{\max}$

$P_{\max}$

( )

[γ]

(Λ)

---


$$U_{cr} = \sqrt{P_0 \cdot 2 \cdot x_m} \quad (9)$$

$$- P_0 = m_z P_n :$$

$$m_z \quad P_n$$

$$: \quad (9) \quad P_0$$

$$U_{cr} = \sqrt{2 \cdot m_z P_n \cdot x_m} \quad (10)$$

$$(10)$$

$$P_0$$

$$U = \text{const}$$

$$[\gamma]$$

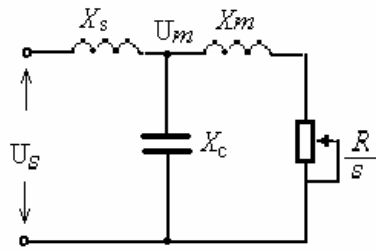
$$: \quad (10) \quad x_s$$

$$U_{c.cr} = \sqrt{2 \cdot m_z P_n (x_m + x_s)} \quad (11)$$

$$[\xi], [\gamma]$$

$$- \gamma$$





ξ-

$$x_{eq} = \frac{x_s \cdot x_c}{x_c - x_s}$$

- x\_c :

$$x_c = \frac{U^2}{Q_c}$$

-U

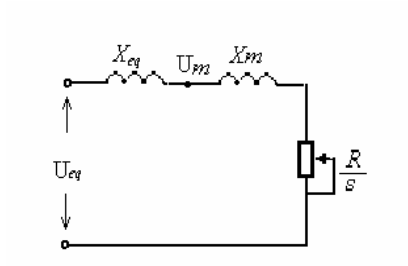
- Q\_c :

:(ξ- )

$$U_{eq} = U_s \frac{x_c}{x_c - x_s}$$

:

$$U_{eq.cr} = \sqrt{2m_z P_n (x_m + x_{eq})} \quad (12)$$



(12) (11)

$U_{eq.cr}$

$U_{s.cr}$

$x_{sc}$

$x_c$

$U_{eq.cr}$

$x_c$

$x_c$

$U_{s.cr}$

$U_{eq.cr}$

$U_{s.cr}$

Stability degree

$\alpha$

$U_{s0}$

$$\alpha = \frac{U_{s0} - U_{s.cr}}{U_{s0}} 100\% \quad (13)$$

:  $U_{s0}$

$$U_{s0} = \sqrt{\left(U_m + \frac{Q_0 x_s}{U_m}\right)^2 + \left(\frac{P_0 x_s}{U_m}\right)^2} \quad (14)$$

$Q_0$

:  $Q_0$

$$Q_0 = P_0 \operatorname{tg} \varphi = \frac{P_0 x_m s}{R} \quad (15)$$

(15)

:  $P = 1 \quad U = 1$

$$\left(\frac{R}{s}\right)^2 - \frac{R}{s} + x_m^2 = 0 \quad (16)$$

$\frac{R}{s}$

$$R \quad (16)$$

(16)  $Q_0$

)

$Q_0$

$(Q_0 = P_0) : P_0$

$(U_{cr} \quad s_{cr})$

$$(s_{cr} = \frac{R}{X_m}), (7)$$

:  $x_s$

---


$$x_s + x_m = \frac{R}{s_{cr}} \quad (17)$$

$$(\text{18}) \quad U_{s.cr} = U_m \quad Q_0 = P_0$$

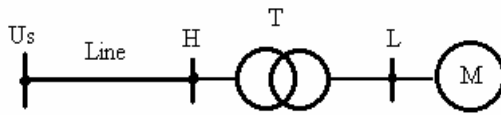
:

$$U_{mcr} = \sqrt{\left(U_{s.cr} - \frac{P_0 x_s}{U_{s.cr}}\right)^2 + \left(\frac{P_0 x_s}{U_{s.cr}}\right)^2} \quad (18)$$

---

C++

(H )



1-

$U_s$

$U_b$

$S = S_n$

:

---


$$x_l = x_0 l \frac{S_b}{U_b^2} \quad ; \quad x_T = \frac{x_T \% S_b}{100 S_T} \quad (19)$$

-  $l$   $\Omega km$

-  $x_0$  :

$. km$

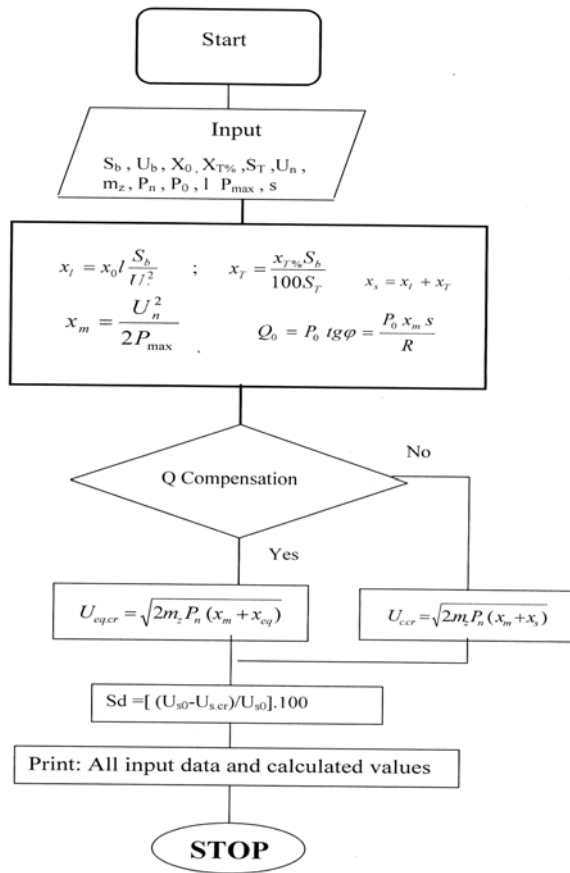
.( )

-  $x_T \%$

$$x_s = x_l + x_T :$$

(7- )

Reactive power compensation



---


$$\begin{aligned}
 U_n &= & S_n &= 0,000 \text{ kW} & \text{ATD-} & 0,000 \\
 P_{\max} &= 2,5 \text{ p.u} & S_n &= 1,00 \text{ p.u} & & 6000 \text{ V} \\
 & & P &= m_z = 1 \text{ p.u} & & \\
 \text{km} & & U_n &= 30 \text{ kV} & & \\
 & & X &= 0,39 \Omega/\text{km} & & l = 40 \\
 & & & & 6 \text{ kV} & 30 \text{ kV} \\
 X_T\% &= 7,0\% & S_{nT} &= 7000 \text{ kW} & &
 \end{aligned}$$

:

ATD-0,000

1-

### Asynchronous motors stability calculation

#### 1-Calculating data insertion

$$\begin{aligned}
 S_b[\text{MVA}] &= 0 \\
 U_b[\text{kV}] &= 30 \\
 X_o[\Omega/\text{km}] &= 0,39 \\
 X_t[\%] &= 7,0
 \end{aligned}$$

$$S_t[\text{MVA}] = 7,0$$

$$\begin{aligned}
 U_n[\text{p.u}] &= 1 \\
 P_{\max}[\text{p.u}] &= 2,5 \\
 s[\text{p.u}] &= 1,00 \\
 m_z[\text{p.u}] &= 1 \\
 P_n[\text{p.u}] &= 1 \\
 P_o = m_z[\text{p.u}] &= 1 \\
 l[\text{km}] &= 40
 \end{aligned}$$

#### Equivalent circuit parameters calculation-2



$X_l = 0,0716327 \text{ p.u}$   
 $X_t = 0,00 \text{ p.u}$   
 $X_s = 0,121633 \text{ p.u}$   
 $X_m = 0,208333$   
 $R = 0,0477260$

3-Critical voltage calculation

(Calculation without reactive power compensation)

System critical voltage  $U_{sr} = 0,812362$

Motor reactive power  $Q_0 = 0,218208$

System initial voltage  $U_{so} = 1,03373$

Motor critical voltage  $U_{mr} = 0,67934$

4-System stability degree  $S_d \% = 21,414$

$U_{mr} = 0,67934 \text{ p.u}$

$U_{sr} = 0,812362 \text{ p.u}$

$U_{so} = 1,03373$

$S_d = 21,414 \%$

$U_{so} = 1,03373$

---

Sd=۲۱,۴۱۴۴

[ ]

[Y]

۲۰۰

---

, MVAR

%

ATD-0,000

2-

### Asynchronous motors stability calculation

1-Calculating data insertion

Sb[MVA] = 0

Ub[kV] = 30

Xo[Om/kM] = 0,39

Xto[%] = 7,0

St[MVA] = 7,0

Un[p.u] = 1

Pmax[p.u] = 2,8

s[p.u] = 0,00

mz[p.u] = 1

Pn[p.u] = 1

Po=mz[p.u] = 1

l[km] = 80

Qcom[1-without or 2-with comp.] = 2

.Equivalent circuit parameters calculation-2

Xl = 0,0716327

Xt = 0,00

Xs = 0,121633

Xm = 0,208333

2.1



ATD-

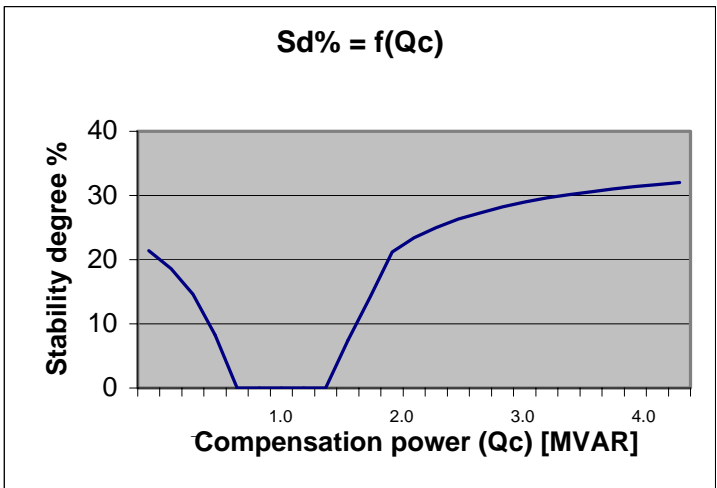
۳-

| Qc[MVAR] | Usr[p.u] | Umr[p.u] | Sd%   |
|----------|----------|----------|-------|
| ۰,۰      | ۰,۸۱۲    | ۰,۶۷۹    | ۲۱,۴  |
| ۰,۲      | ۰,۸۴     | ۰,۷۱     | ۱۸,۶  |
| ۰,۴      | ۰,۸۸     | ۰,۷۶     | ۱۴,۶  |
| ۰,۶      | ۰,۹۴۸    | ۰,۸۳     | ۸,۲   |
| ۰,۸      | ۱,۰۶۶    | ۰,۹۶     | -۳    |
| ۱,۰      | ۱,۳۰     | ۱,۲۶     | -۳۰   |
| ۱,۲      | ۶,۱      | ۶,۰۰     | -۴۸۷  |
| ۱,۴      | ۱,۳۹     | ۱,۳      | -۳۰   |
| ۱,۶      | ۱,۰۸     | ۰,۹۷     | -۴۰   |
| ۱,۸      | ۰,۹۰۰    | ۰,۸۴     | ۷,۰   |
| ۲,۰      | ۰,۹۱۳    | ۰,۸۰۰    | ۱۰,۰  |
| ۲,۲      | ۰,۸۸     | ۰,۷۶     | ۱۴,۱  |
| ۲,۴      | ۰,۸۱۴    | ۰,۶۸     | ۲۱,۴  |
| ۲,۶      | ۰,۷۹     | ۰,۶۰۷    | ۲۳,۴  |
| ۲,۸      | ۰,۷۷۰    | ۰,۶۳۸    | ۲۰    |
| ۳,۰      | ۰,۷۶     | ۰,۶۲۳    | ۲۶,۳  |
| ۳,۲      | ۰,۷۰     | ۰,۶۱۱    | ۲۷,۳  |
| ۳,۴      | ۰,۷۴     | ۰,۶      | ۲۸,۲  |
| ۳,۶      | ۰,۷۳۴    | ۰,۰۹     | ۲۹    |
| ۳,۸      | ۰,۷۲۸    | ۰,۰۸۰    | ۲۹,۶  |
| ۴,۰      | ۰,۷۲۲    | ۰,۰۷۹    | ۳۰,۱  |
| ۴,۲      | ۰,۷۱۷    | ۰,۰۷۳    | ۳۰,۶  |
| ۴,۴      | ۰,۷۱۳    | ۰,۰۶۹    | ۳۱    |
| ۴,۶      | ۰,۷۱     | ۰,۰۶۰    | ۳۱,۴  |
| ۴,۸      | ۰,۷۰۰    | ۰,۰۶     | ۳۱,۷  |
| ۵,۰      | ۰,۷۰۳    | ۰,۰۵۷    | ۳۲    |
| ۶,۰      | ۰,۶۹     | ۰,۰۴۴    | ۳۳    |
| ۷,۰      | ۰,۶۸     | ۰,۰۳۶    | ۳۳,۸۶ |
| ۱۰,۰     | ۰,۶۷     | ۰,۰۲     | ۳۰    |
| ۱۰۰۰۰۰,۰ | ۰,۶۴۶    | ۰,۰      | ۳۷    |

.Sd% = f(Qc)

۳-

.۷-



ATD-0.000

v-

.(Qc)

v-

%2.

Sd%

%000 - %030

(v,0 MVA)

( 00% - 30% )

1,0

:ε-

ATD-0.000

1,3

ε-

[mz]

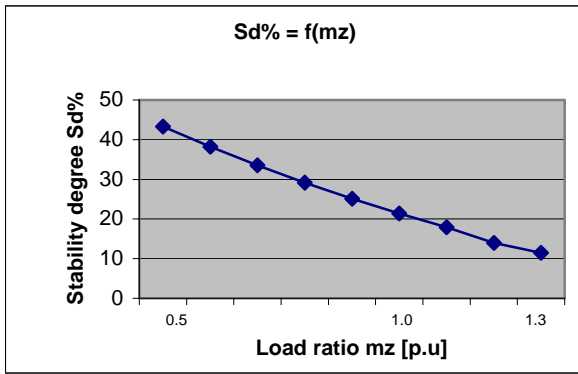
| mz | 1,0 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 1,9  | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,3 |
|----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|
| Um | 1,4 | 1,0 | 1,0 | 1,6 | 1,6  | 1,6 | 1,7 | 1,7 | 1,7 |
| r  | 8   | 2   | 6   |     | 0    | 8   |     | 4   | 7   |
| Sd | 43, | 38, | 33, | 29, | 20,1 | 21, | 17, | 14  | 11, |
| %  | 3   | 2   | 0   | 2   | 0    | 4   | 9   |     | 0   |

ε-

.(8- )

ATD-

2.0



ATD-0.000

λ-

.(mz)

.Un 0,0

Un

1,1

.0-

ATD-0.000

ε-

|               |      |      |      |      |      |      |       |
|---------------|------|------|------|------|------|------|-------|
| <b>U[p.u]</b> | 0,0  | 0,6  | 0,7  | 0,8  | 0,9  | 1,0  | 1,1   |
| <b>Umr</b>    | 0,43 | 0,48 | 0,52 | 0,57 | 0,62 | 0,68 | 0,737 |
| <b>Sd%</b>    | -3   | 3    | 9,4  | 14,4 | 18,4 | 21,4 | 23,80 |

%10



3,18%, 3,21%,

3%

:

-1

-2

-3

-4

ATD-0000

2.7

( ) - -)

-

٢ - Knyazevski B. A., Leipkin B.U. Industrial Plants Power supply.  
Second edition. High School, Moscow ١٩٧٩.

٣ - Eguiluz, L.I.; Lavandero, P.; Mañana, M.; Lara, P. "Performance  
Analysis of a Three-phase Induction Motor under Nonsinusoidal and  
Unbalanced Conditions".  
Department of Electrical Engineering, University of La Rioja. Spain,  
University of Cantabria. Spain.  
[http://www.diee.unican.es/diee/pdf/gijon٩٩\\_٢.pdf](http://www.diee.unican.es/diee/pdf/gijon٩٩_٢.pdf)

٤ - I. Dobson, T. Van Cutsem, C. Vournas, C.L. DeMarco, C.L. DeMarco  
M. Venkatasubramanian, T. Overbye, C.A. Canizares." Basic Theoretical  
Concepts

CHAPTER 7 from Voltage Stability Assessment: Concepts, Practices and  
Tools" August 2002.  
<http://eceserv.ece.wisc.edu/~dobson/PAPERS/WGchapter07.pdf>

• - Ito R. "Stability of induction motor drive controlled by current source  
inverter". IEEE Proceedings, Electric Power Applications, vol. 136, Issue:  
7, pages 83-88, 1989 year.

/ /