

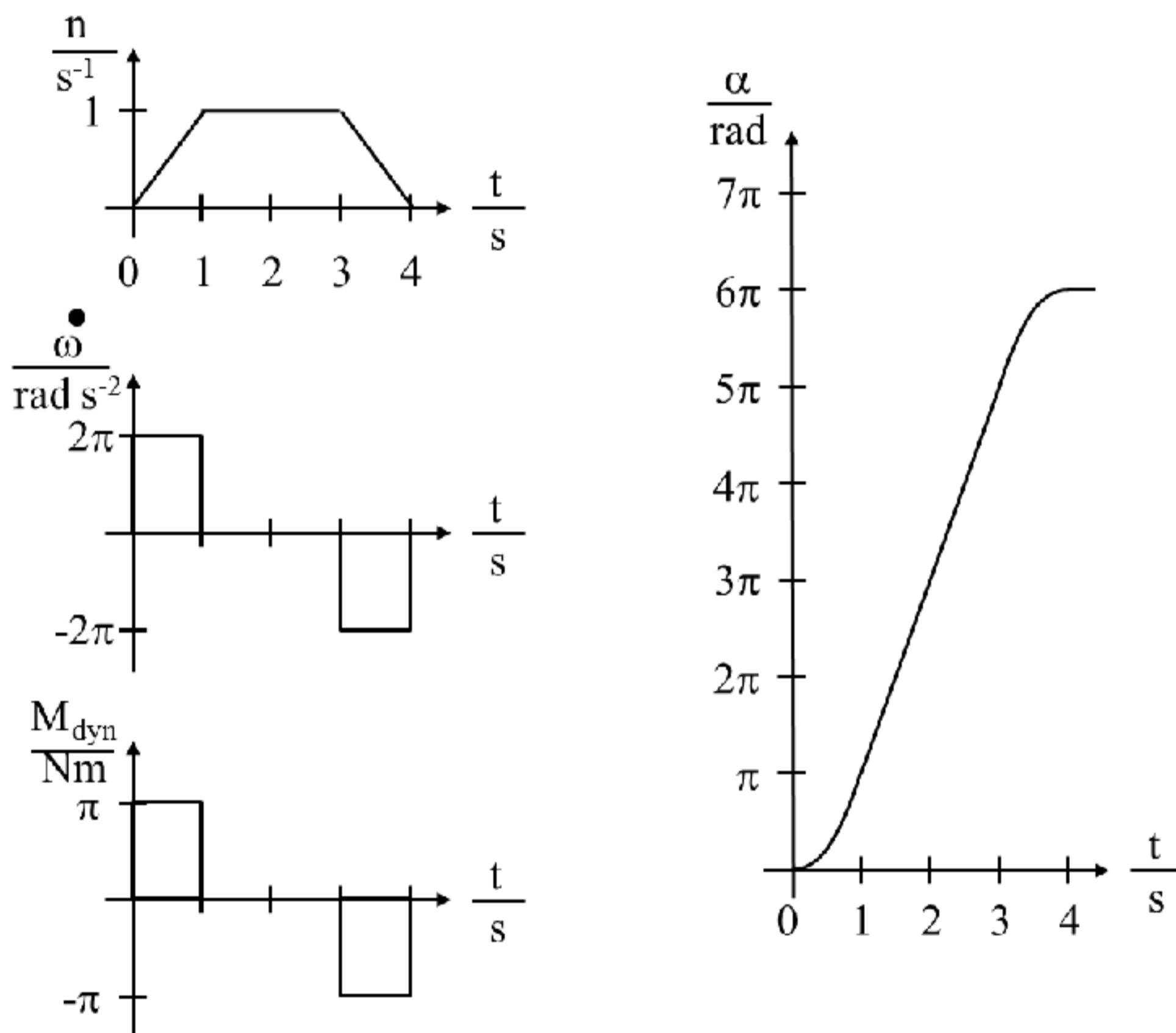
Lösung zu Aufgabe 1:

$$1. \quad M_{\text{stat}}(\alpha) = m \cdot g \cdot r \cdot \cos \alpha = 9,81 \text{ Nm} \cdot \cos \alpha$$

$$2. \quad \dot{\omega} = \begin{cases} \frac{2\pi}{\text{s}^2} & \text{für } 0 < t < 1 \text{ s} \\ 0 & \text{für } 1 \text{ s} < t < 3 \text{ s} \\ -\frac{2\pi}{\text{s}^2} & \text{für } 3 \text{ s} < t < 4 \text{ s} \end{cases}$$

$$J = m \cdot r^2 = 0,5 \text{ kg m}^2$$

$$M = \begin{cases} \pi \text{ Nm} & \text{für } 0 < t < 1 \text{ s} \\ 0 & \text{für } 1 \text{ s} < t < 3 \text{ s} \\ -\pi \text{ Nm} & \text{für } 3 \text{ s} < t < 4 \text{ s} \end{cases}$$



$$3. \quad \alpha = \int_0^t \omega(\tau) d\tau = \begin{cases} \pi \cdot \frac{t^2}{\text{s}^2} & \text{für } 0 \leq t < 1 \text{ s} \\ \pi + 2\pi \cdot \left(\frac{t}{\text{s}} - 1\right) = 2\pi \cdot \frac{t}{\text{s}} + \pi & \text{für } 1 \text{ s} \leq t < 3 \text{ s} \\ 6\pi - \pi \cdot \left(\frac{t}{\text{s}} - 4\right)^2 = -\pi \cdot \left(\frac{t}{\text{s}}\right)^2 + 8\pi \cdot \frac{t}{\text{s}} - 10\pi & \text{für } 3 \text{ s} \leq t < 4 \text{ s} \end{cases}$$

4. Dynamisches Drehmoment: maximal von 0-1 s:

$$M_{\text{dyn}} = J \cdot \dot{\omega} = \pi \text{ Nm}$$

Stationäres Drehmoment maximal bei  $t = 0$

$$M_{\text{stat}}(t=0) = 9,81 \text{ Nm}$$

$$\text{Gesamt-Drehmoment: } M(t=0) = M_{\text{stat}}(t=0) + M_{\text{dyn}}(t=0) = 12,95 \text{ Nm}$$

5. PM-Synchronmaschine. Gründe:

- geringer Baugröße möglich,
- hohe Dynamikanforderungen möglich (Robotor),
- Feldschwächung nicht nötig

Lösung zu Aufgabe 2:

$$1. \quad R_a = \frac{U_{aN}}{I_{aN}} - \frac{P_N}{I_{aN}^2} = 396 \text{ m}\Omega$$

$$R_f = \frac{U_{fN}}{I_{fN}} = 58,1 \Omega$$

$$2. \quad \frac{\Delta u_a}{2} \approx L_a \cdot \frac{\Delta i_a}{\Delta t} = L_a \cdot 2 \cdot \Delta i_a \cdot f_p$$

$$T_a = \frac{L_a}{R_a} = \frac{\Delta u_a}{4 \cdot \Delta i_a \cdot f_p \cdot R_a} = 4,735 \text{ ms} \quad L_a = 1,875 \text{ mH}$$

$$3. \quad \text{Feldschwächbereich: } U_a = U_{aN}$$

$$P_L = U_{iL} \cdot I_{aL} = (U_{aN} - R_a \cdot I_{aL}) \cdot I_{aL}$$

$$I_{aL}^2 - \frac{U_{aN}}{R_a} \cdot I_{aL} + \frac{P_L}{R_a} = 0$$

$$I_{aL} = \frac{U_{aN}}{2 \cdot R_a} - \sqrt{\frac{U_{aN}^2}{4 \cdot R_a^2} - \frac{P_L}{R_a}} = -36,2 \text{ A} \quad P_L = -15 \text{ kW (gen. Betrieb)}$$

$$U_{iL} = U_{aN} - R_a \cdot I_{aL} = 414,34 \text{ V mit } I_{aL} < 0 \text{ (gen. Betrieb)}$$

$$k\Phi_L = \frac{U_{iL}}{n_L} = 4,874 \text{ Vs}$$

$$M_N = \frac{P_N}{2\pi \cdot n_N} = 88,3 \text{ Nm}$$

$$k\Phi_N = \frac{2\pi \cdot M_N}{I_{aN}} = 5,386 \text{ Vs}$$

$$U_{fL} = \frac{k\Phi_L}{k\Phi_N} \cdot U_{fN} = 226,18 \text{ V}$$

$$4. \quad f_{0mech} = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{c \cdot \left( \frac{1}{J_M} + \frac{1}{J_L} \right)} = 100 \text{ Hz}$$

## 5. Anregungsfrequenzen:

Mechanisch (Drehzahl): 85 Hz und deren Harmonische (170 Hz usw.)

Ankerkreis (Pulsfrequenz): 2 kHz und deren Harmonische (4 kHz usw.)

Erregerkreis (2-fache Netzfrequenz): 100 Hz und deren Harmonische (200 Hz usw.)

Die Resonanz wird vom Erreger-Gleichrichter angeregt. Er sollte daher eine stärkere Glättung haben oder durch einen Pulsleichrichter mit Ausregelung der Schwingung ersetzt werden.

Lösung zu Aufgabe 3:

$$1. \quad I_{\text{WKipp}} = \frac{M_{\text{Kipp}}}{M_N} \cdot I_N \cdot \cos \varphi_N = 43,14 \text{ A}$$

$$f_{2N} = f_{1N} - p \cdot n_N = 1 \text{ Hz}$$

$$\frac{M_N}{M_{\text{Kipp}}} = \frac{2}{\frac{f_{2N}}{f_{2\text{kipp}}} + \frac{f_{2\text{kipp}}}{f_{2N}}} \Rightarrow f_{2\text{Kipp}}^2 + f_{2N}^2 - 2 \cdot \frac{M_{\text{Kipp}}}{M_N} \cdot f_{2\text{kipp}} \cdot f_{2N} = 0$$

$$f_{2\text{kipp}} = f_{2N} \cdot \left( \frac{M_{\text{Kipp}}}{M_N} + \sqrt{\left( \frac{M_{\text{Kipp}}}{M_N} \right)^2 - 1} \right) = 4,117 \text{ Hz}$$

$$2. \quad M_N = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{1N} \cdot I_N \cdot \cos(\varphi_N) \cdot (1 - s_N)}{2\pi \cdot n_N} = 87,33 \text{ Nm}$$

$$3. \quad I_{\text{WLast}} = \frac{2\pi \cdot f_1 \cdot M_{\text{Last}}}{p \cdot \sqrt{3} \cdot U_{1N}} = 14,74 \text{ A} = 0,342 \cdot I_{\text{WKipp}} \Rightarrow \frac{M_{\text{Kipp}}}{M_{\text{Last}}} = 2,924$$

$$f_{2\text{Last}}^2 - \frac{2 \cdot M_{\text{Kipp}}}{M_{\text{Last}}} \cdot f_{2\text{kipp}} \cdot f_{2\text{Last}} + f_{2\text{kipp}}^2 = 0$$

$$f_{2\text{Last}} = \left( \frac{M_{\text{Kipp}}}{M_{\text{Last}}} - \sqrt{\left( \frac{M_{\text{Kipp}}}{M_{\text{Last}}} \right)^2 - 1} \right) \cdot f_{2\text{kipp}} = 0,7264 \text{ Hz}$$

$$f_{1\text{Last}} = f_{2\text{Last}} + p \cdot n_{\text{Last}} = 34,06 \text{ Hz}$$

$$U_{1\text{Last}} = \frac{f_{1\text{Last}}}{f_{1N}} \cdot U_{1N} = 272,5 \text{ V}$$

4. Betrieb im Kippunkt, d. h.  $M_N = M_{\text{Kippmax}}$ :

$$M_{\text{Kippmax}} = 3p \cdot \frac{U_{1N}^2}{\omega_{1\text{max}}^2} \cdot \frac{1}{2 \cdot L_1 \cdot \frac{\sigma}{1-\sigma}}$$

$$f_{1\text{max}} = f_{1N} \cdot \sqrt{\frac{M_{\text{KippN}}}{M_{\text{Kippmax}}}} = f_{1N} \cdot \sqrt{\frac{M_{\text{KippN}}}{M_N}} = 73,826 \text{ Hz}$$

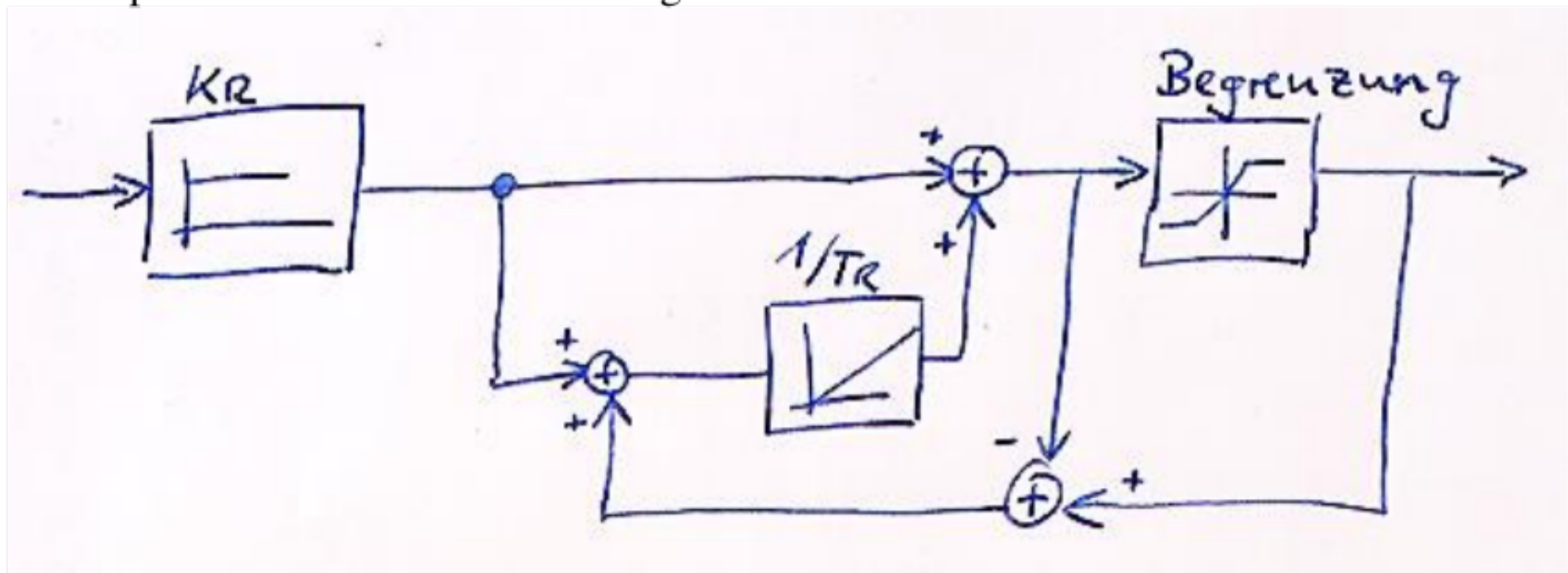
$$n_{\text{max}} = \frac{f_{1\text{max}} - f_{2\text{Kipp}}}{p} = 2091 \text{ min}^{-1}$$

nein, da schon  $\frac{I_{2\text{max}}}{1 + \sigma_1} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{WKippmax}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{WKippN}} \cdot \frac{f_{1N}}{f_{1\text{max}}} = 41,3 \text{ A} > I_{1N}$  größer als der Bemessungsstrom ist.

5. (inkl. 6.) : Der Antrieb wäre grundsätzlich geeignet.

Lösung zu Aufgabe 4:

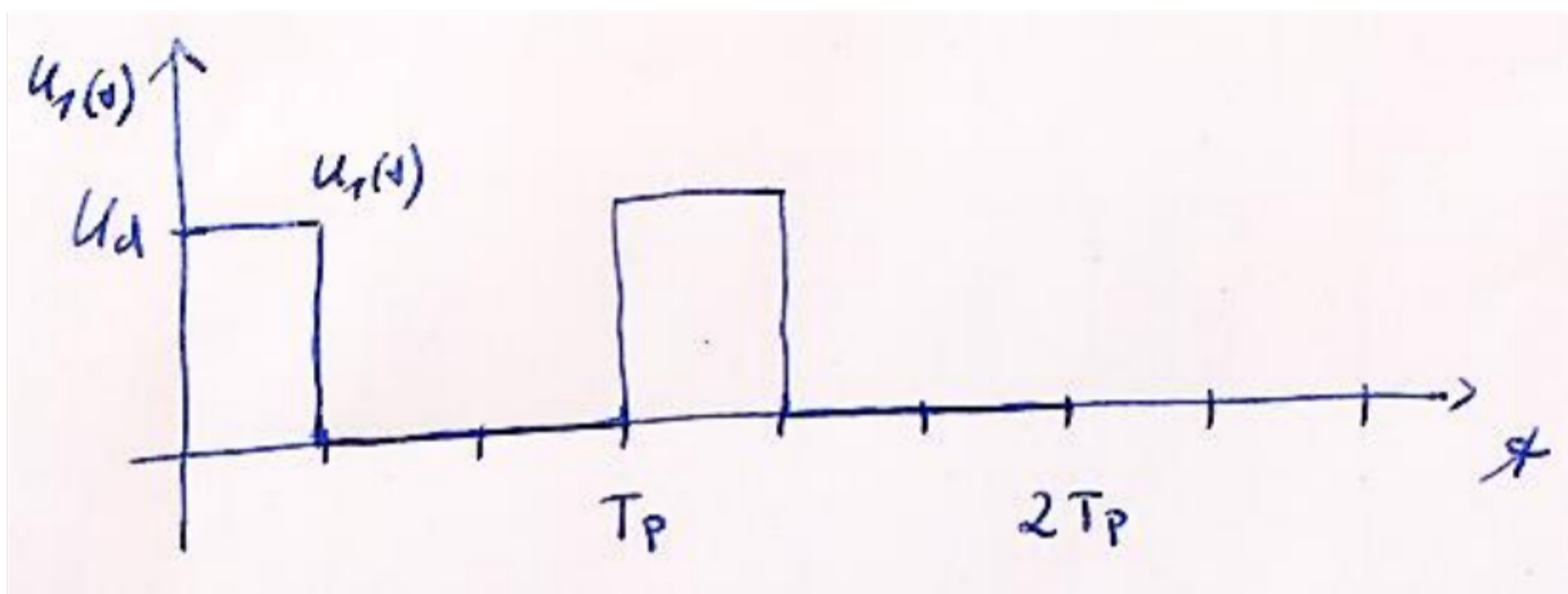
- Die Begrenzung des Integrators bei Erreichen der Stellgrößenbegrenzung ist nötig. Anti-Windup-Maßnahme muss im Bild ergänzt werden.



- Die Übertragungsfunktion des  $PT_1$ -Glieds ist

$$G_{PT1}(s) = \frac{K}{1+sT} = \frac{1}{1+s \cdot 1,1ms}$$

3.



- Nein, da die Drehzahl falsch gemessen wird (Vorzeichen). Die Ankerklemmen des Tachogenerators müssen getauscht werden.
- Die stationäre Kennlinie enthält die Punkte (1420U/min, 19Nm) und (1500U/min, 0Nm) sowie (1000U/min, 57Nm);  $M_A=30Nm$
- + geringer Soft- und Hardwareaufwand  
- geringere Dynamik als bei FOR, keine Stromregelung bzw. Begrenzung möglich