

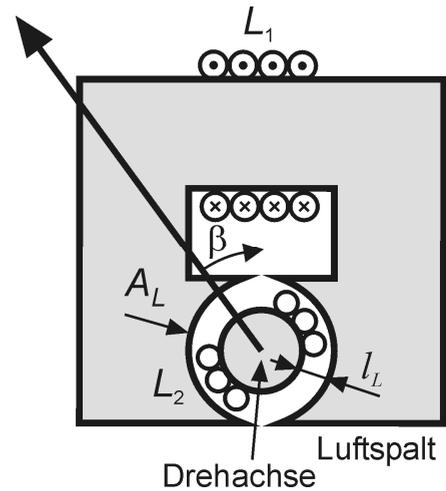
Hochschule München FK 03	Prüfung Sommersemester 2015 Grundlagen der Elektrotechnik Dauer: 90 Minuten	F. Palme
Zugelassene Hilfsmittel: Taschenrechner, 1 DIN-A4-Blatt	Matr.-Nr.:	Name, Vorname:
	Hörsaal:	Unterschrift:

A	1	2	3	4	Σ	N
P						

Aufgabe 1: Elektrodynamisches Messwerk (ca. 16 Punkte)

Zur gleichzeitigen Messung von Spannung und Strom werden *elektrodynamische Messwerke* eingesetzt (siehe Abb.):

- Die *feststehende Spule* L_1 (Strom $I_1 = 100\text{ mA}$, N_1 Windungen) erzeugt die Induktion B im Weicheisenkern (Joch).
- Durch dieses Feld wird die drehbar gelagerte *Ankerwicklung* L_2 (Strom $I_2 = 1\text{ mA}$, $N_2 = 200$ Windungen auf Durchmesser $d = 2\text{ cm}$, Leiterlänge $l = 2\text{ cm}$) aus der gezeichneten Ruhelage um den Winkel β ausgelenkt und als Zeigerausschlag auf einer kalibrierten Skala angezeigt.



Die Ankerspule ist mit einer (nicht gezeichneten) Torsionsfeder mit Federkonstanten c gegenüber der Ruhelage gelagert, wodurch sich ein Kräftegleichgewicht zwischen Drehmoment M der Spule und Torsionsmoment $M_F = c \cdot \beta$ der Feder einstellt. Im Luftspalt der Länge $l_L = 2\text{ mm}$ und mittlerer Querschnittsfläche $A_L = 4,5\text{ cm}^2$ können alle Feldlinien als senkrecht zum Eisenkern angenommen werden, Streufelder sind zu vernachlässigen, die Permeabilität im Eisen sei unendlich ($\mu_r \rightarrow \infty$, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\text{ Vs/(Am)}$).

1.1 Zeichnen Sie einige Feldlinien mit der richtigen Magnetfeldrichtung in den Kernquerschnitt ein, die durch die feststehende Spule L_1 erzeugt werden. Welchen Vorteil hat die kreisförmige Form des Eisenkerns im Bereich des Luftspalts gegenüber planen Grenzflächen (Begründung)?

1.2 Zeichnen Sie das Ersatzschaltbild des magnetischen Kreises (alle auftretenden Größen bezeichnen) und berechnen Sie dessen magnetischen Widerstand R_m . **Ersatzwert:** $R_m = 1 \cdot 10^7\text{ H}^{-1}$

Die Flussdichte an der Ankerspule soll $B = 20 \text{ mT}$ betragen.

- 1.3 Berechnen Sie den magnetischen Fluss Φ , die erforderliche Windungszahl N_1 und die Induktivität L_1 .

- 1.4 Zeichnen Sie die für den richtigen Zeigerausschlag erforderliche Stromrichtung in die Ankerwicklung L_2 ein.

- 1.5 Geben Sie die Kraft F auf eine Windung der Drehspule und das resultierende Drehmoment M auf den Anker allgemein an. Wie groß ist M bei $I_2 = 1 \text{ mA}$? **Ersatzwert:** $M = 16 \mu\text{Nm}$

- 1.6 Berechnen Sie die erforderliche Federkonstante c damit das Messwerk für $I_2 = 1 \text{ mA}$ Vollausschlag ($\beta_{\max} = 90^\circ$) anzeigt.

- 1.7 Welche Funktion realisiert das Messwerk bezüglich der beiden Ströme I_1 und I_2 ? Geben Sie eine einfache Schaltung an mit der dieses Messgerät zur Leistungsmessung mit Vollausschlag $P = 1 \text{ W}$ eingesetzt werden kann?

Aufgabe 2: Netzfilter (ca. 21 Punkte)

Zur Reduzierung von Störeinkopplungen werden elektrische Geräte häufig über *Netzfilter* an das Wechselspannungsnetz angeschlossen (Abb. 1).

$$\underline{U}_S = U_S \cdot e^{j\varphi_u}$$

(komplexer Effektivwert)

Betriebsfrequenz: $f = 50 \text{ Hz}$

Bauteile: $C = 0,1 \mu\text{F}$

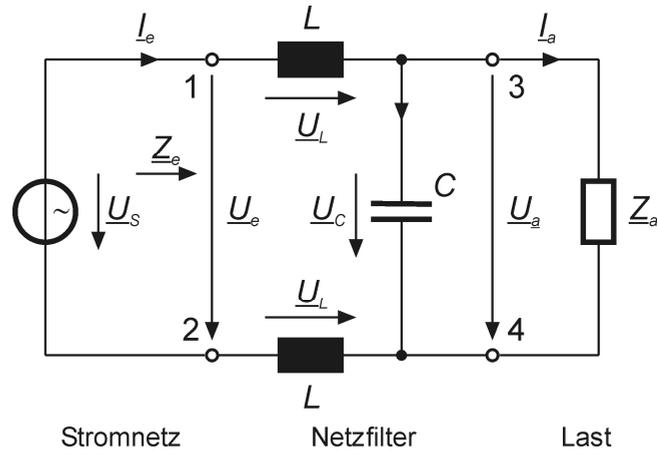


Abb. 1: Netzfilter (vereinfacht)

Teil 1: Nennbetrieb

Bei Nennbetrieb mit Scheinleistung $S = 1,2 \text{ kVA}$ wird an den Anschlussklemmen 3–4 der Last mit Impedanz \underline{Z}_a der komplexe Effektivwert $\underline{U}_a = j225 \text{ V}$ und der Blindfaktor $\beta = 0,37$ gemessen.

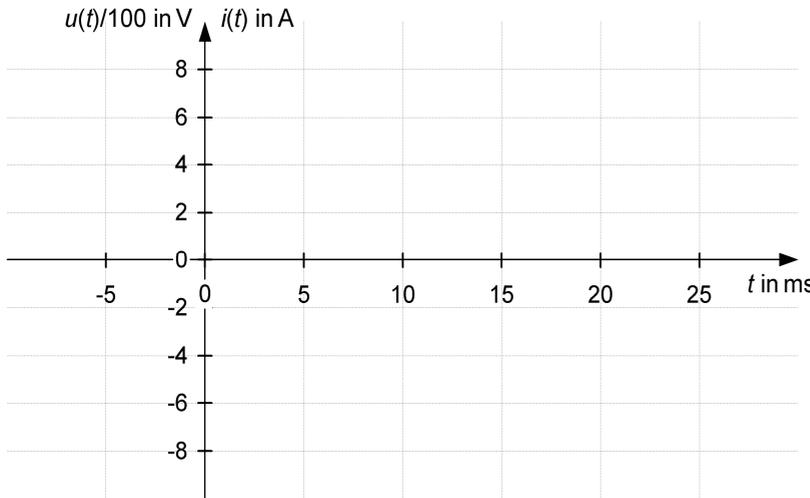


Diagramm 1

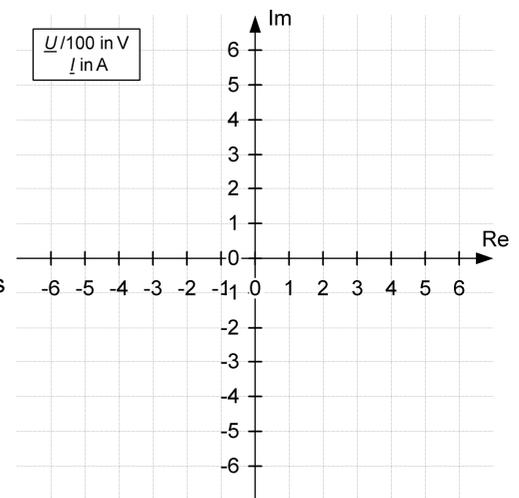


Diagramm 2

2.1 Geben Sie die Periodenzeit T , Amplitude \hat{U}_a und Phase φ_u der Spannung \underline{U}_a an. Zeichnen Sie den zugehörigen Zeitverlauf $u_a(t)$ in das Diagramm 1 sowie den Effektivwert-Drehzeiger \underline{U}_a in die komplexe \underline{U} -Ebene (Diagramm 2).

2.2 Berechnen Sie die von der Last \underline{Z}_a aufgenommene Wirkleistung P und Blindleistung Q . Welche Impedanzcharakteristik liegt vor (Begründung)?

2.3 Berechnen Sie den Strom \underline{I}_a und zeichnen Sie \underline{I}_a in die komplexe \underline{I} -Ebene (Diagramm 2) sowie $i_a(t)$ in das Zeitverlaufdiagramm 1. Zeigen Sie, dass im Nennbetrieb gilt: $\underline{I}_e \approx \underline{I}_a$

Ersatzwert: $\underline{I}_a = (1,6 + j4) \text{ A}$

2.4 Berechnen Sie die Impedanz \underline{Z}_a . Geben Sie ein Ersatzschaltbild (ESB) des Zweipols \underline{Z}_a an und berechnen Sie dessen Bauteilwerte.

Teil 2: Filterwirkung

Im Weiteren wird das Netzfilter **ohne angeschlossene Last** \underline{Z}_a betrachtet, d.h. $\underline{I}_a = \mathbf{0}$.

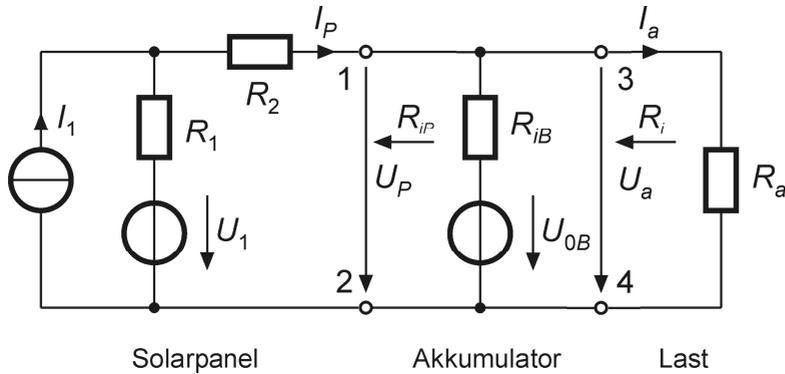
2.5 Geben Sie die Eingangsimpedanz \underline{Z}_e des Netzfilters bezüglich der Eingangsklemmen 1–2 allgemein an und berechnen Sie damit das komplexe Übertragungsverhältnis $\underline{H}(f) = \underline{U}_a / \underline{U}_e$ allgemein als Funktion der Frequenz f (Ausdruck *nicht* vereinfachen).

2.6 Geben Sie $H(f)$ für sehr niedrige ($f \rightarrow 0$, Gleichstrom) und sehr hohe Frequenzen ($f \rightarrow \infty$) an. Erläutern Sie damit die Wirkung des Netzfilters, indem Sie in der Schaltung die sich dann jeweils ergebenden Blindwiderstände von L und C ansetzen.

2.7 Dimensionieren Sie L so, dass das Netzfilter bei $f_0 = 8 \text{ kHz}$ nur Wirkleistung überträgt.

Aufgabe 3: Solarenergieversorgung (ca. 21 Punkte)

Eine energieautarke Kleinmessstation (modelliert als ohmsche Last R_a) soll über Solarstrom betrieben werden. Die Energieversorgung kann am Arbeitspunkt durch folgendes vereinfachtes Ersatzschaltbild (ESB) beschrieben werden, bei der ein Akkumulator (Leerlaufspannung U_{0B} , Innenwiderstand R_{iB}) durch ein Solarpanel mit einen von der Einstrahlung abhängigen Strom $I_P > 0$ geladen wird.



- $I_1 = 1 \text{ A}$
- $U_1 = 12 \text{ V}$
- $R_1 = 5 \text{ } \Omega$
- $R_2 = 3 \text{ } \Omega$
- $U_{0B} = 12 \text{ V}$
- $R_{iB} = 2 \text{ } \Omega$

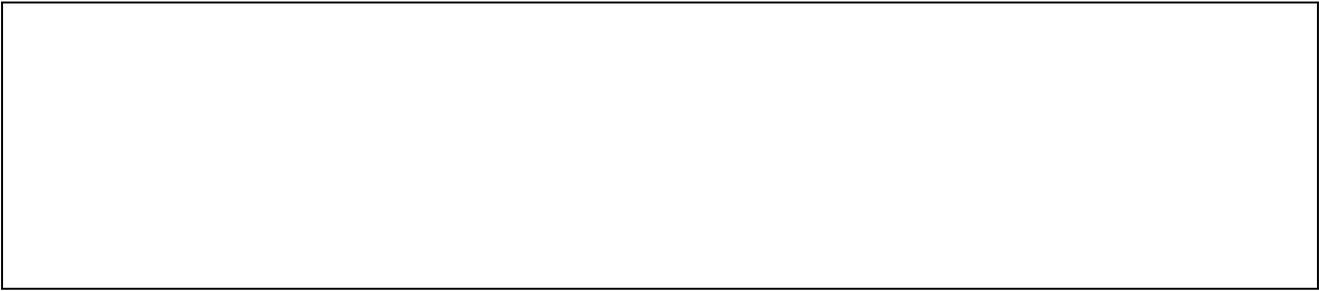
Abb. 1: Solarenergieversorgung (vereinfacht)

3.1 Berechnen Sie die Kenngrößen U_{0P} und R_{iP} des Spannungsquellen-ESB des Solarpanels **links der Eingangsklemmen 1–2** allgemein und zahlenmäßig. **Ersatzwerte:** $U_{0P} = 13 \text{ V}$, $R_{iP} = 6 \text{ } \Omega$

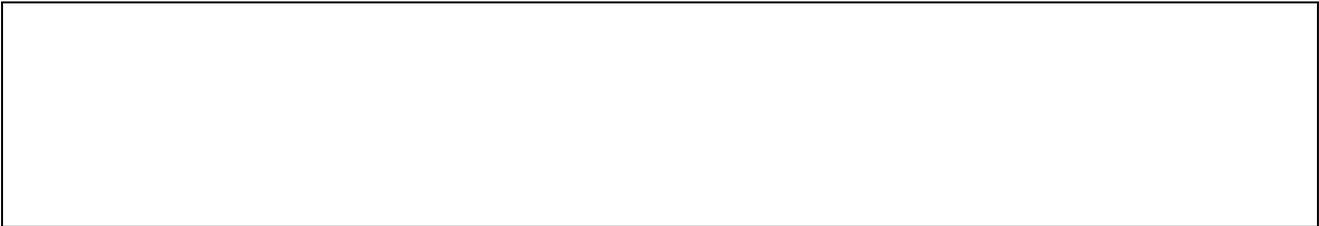
3.2 Berechnen Sie die Kenngrößen U_0 und R_i des Spannungsquellen-ESB der Solarenergieversorgung **links der Ausgangsklemmen 3–4** allgemein und zahlenmäßig. **Ersatzwerte:** $U_0 = 16 \text{ V}$, $R_i = 1,5 \text{ } \Omega$

3.3 Welchen maximalen Ausgangsstrom $I_{a,max}$ kann die Solarenergieversorgung liefern?

3.4 Skizzieren Sie das Strom-Spannungsdiagramm $I_a(U_a)$ der Solarenergieversorgung (quantitativ).



3.5 Berechnen Sie die maximal der Solarenergieversorgung entnehmbare Leistung P_{max} . Warum ist dieser Anpassungsfall hier nicht sinnvoll (Begründung)?



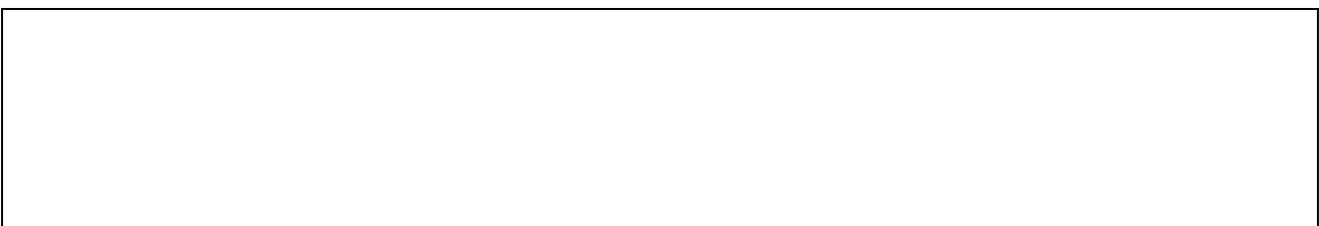
3.6 Welcher minimale Lastwiderstand $R_{a,min}$ ist für einen Wirkungsgrad von mindestens $\eta = 0,95$ zulässig? **Ersatzwert: $R_{a,min} = 28 \Omega$**



3.7 Berechnen Sie die in diesem Fall $\eta = 0,95$ maximal von der Last R_a aufnehmbare Leistung P , den Betriebsstrom I_a und die Betriebsspannung U_a . **Ersatzwert: $P = 5,4 \text{ W}$**



3.8 Wie lange dauert es, bis der Akkumulator im Leerlauf ($I_a = 0$) durch den Ladestrom I_p eine Energie $W = 10 \text{ Wh}$ aufgenommen hat? Wie lange kann die Last $R_{a,min}$ damit betrieben werden?

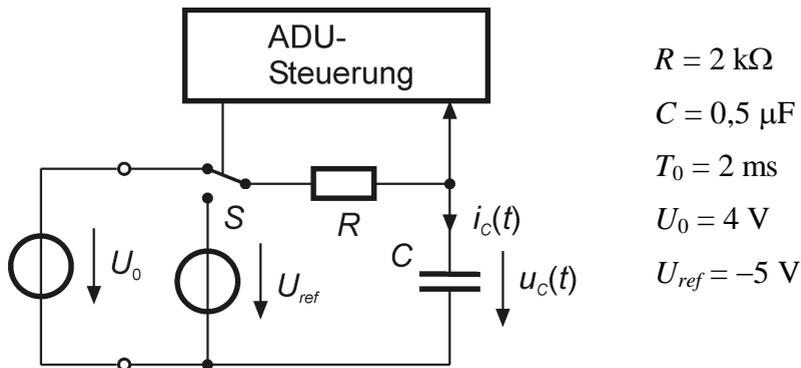


Aufgabe 4: Analog/Digital-Umsetzer (ca. 16 Punkte)

Betrachtet wird ein *A/D-Umsetzer (ADU)* nach dem Dual-Slope-Verfahren.

Teil 1: Integration mit RC-Glied

Die zu messende Eingangsspannung U_0 lädt den Integrationskondensator C über einen Widerstand R innerhalb einer konstanten Ladezeit T_0 . Dann wird C über eine konstante negative Spannung U_{ref} entladen bis $u(t) = 0$ und die dafür benötigte Entladezeit T durch Zählen eines hochfrequenten Takts digital gemessen. Anschließend beginnt ein neuer Messzyklus (gesteuert durch eine hier nicht näher zu betrachtende ADU-Steuerung).



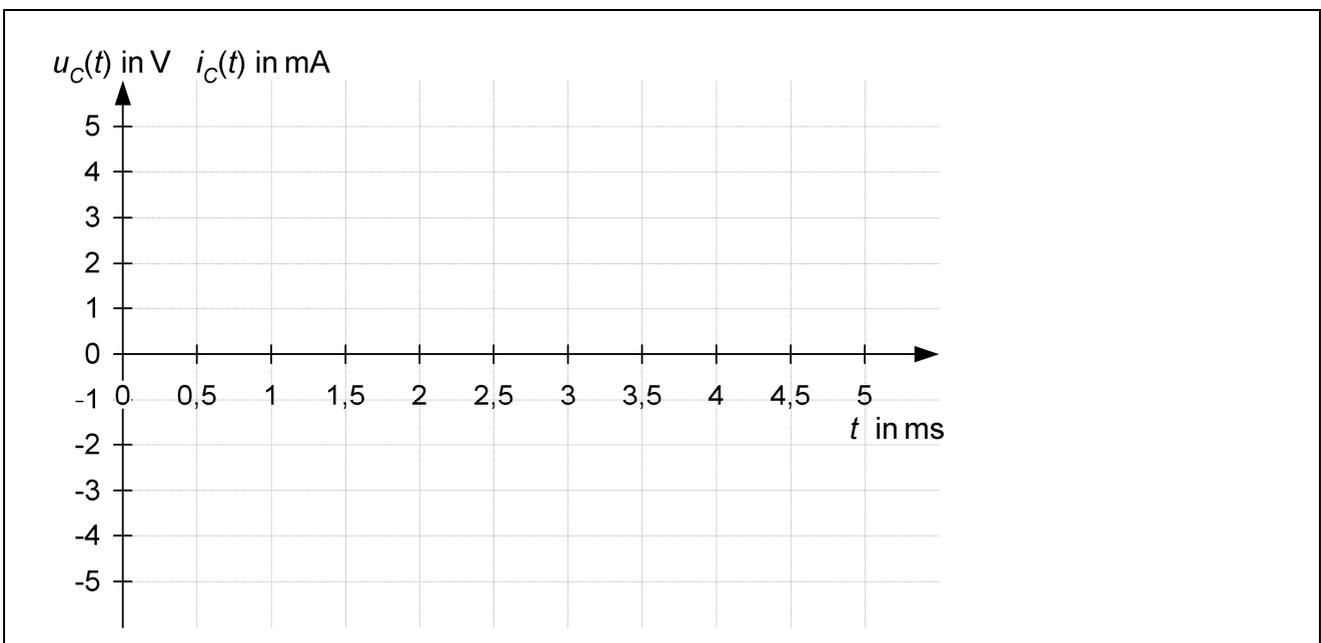
- $R = 2 \text{ k}\Omega$
- $C = 0,5 \text{ }\mu\text{F}$
- $T_0 = 2 \text{ ms}$
- $U_0 = 4 \text{ V}$
- $U_{ref} = -5 \text{ V}$

Abb. 1: ADU mit RC-Glied

Zum Zeitpunkt $t = 0$ sei C vollständig entladen und der Messzyklus beginnt.

4.1 Berechnen Sie die Zeitkonstante τ , den Strom $I_0 = i_C(0)$ und $u_C(T_0)$

4.2 Geben Sie die Spannung $u_C(t)$ und den Strom $i_C(t)$ allgemein an für $0 \leq t \leq T_0$. Skizzieren Sie $u_C(t)$ und $i_C(t)$ sowie jeweils die Zeitkonstante im Bereich $0 \leq t \leq 5 \text{ ms}$.



Teil 2: Integration mit Stromquelle

Um die Nichtlinearität des geschilderten Verfahrens mit RC-Glied zu vermeiden wird der Widerstand R durch eine von der Eingangsspannung U gesteuerte Stromquelle $I_0(U)$ ersetzt (Integrator):

$$I_0(U) = k \cdot U \quad \text{mit } k = 0,25 \text{ mA/V}$$

Zum Zeitpunkt $t = 0$ sei C wiederum vollständig entladen und der Messzyklus beginnt.

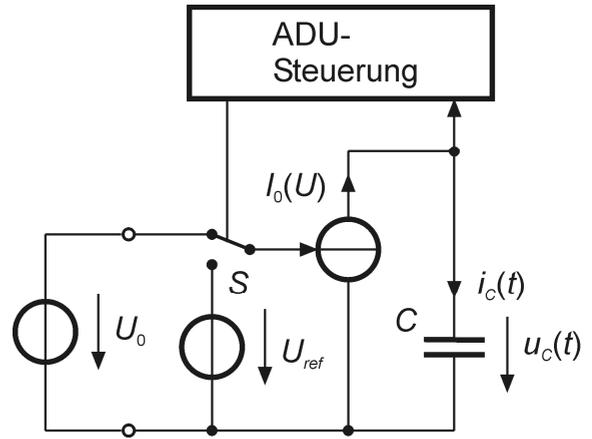


Abb. 1: ADU mit Stromquelle (Dual-Slope-ADU)

4.3 Berechnen Sie $u_C(t)$ und $i_C(t)$ allgemein sowie $u_C(T_0)$ und $i_C(T_0)$ zahlenmäßig.

4.4 Skizzieren Sie $u_C(t)$ und $i_C(t)$ im Bereich $0 \leq t \leq 5$ ms.

