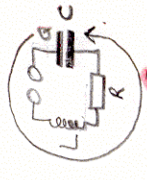


① Fangen wir mit einem klassischen LC-Schwingkreis an und probieren wir, ob man den durch die Signallaufzeit einzelner ~~klein~~ erklären kann.



bei $R=0 \Rightarrow$ harmonische Schwingung $\Rightarrow \omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}}$

beim einmaligen Umladen (halbe Schwingungsperiode) läuft die Ladung Q einmal herum von einer Kondensatorplatte in die andere

Für die Dauer der Halbschwingung:

- Wie erklärt sich die Kapazität C ?
- Wie lange läuft diese Ladung durch den Spulendraht L ?

Das ist anders als bei der Zweidrahtleitung nach Frank Lienssch.

Laufgeschwindigkeit $v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \epsilon_r \mu_0 \mu_r}} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r \mu_r}}$ für el. und magnet. Wellen in Materie

Für Signale auf Zweidrahtleitungen & Frank Lienssch: $v = \frac{1}{\sqrt{L'C'}}$ mit den Belägen

Nach Störker's Taschenrechner ob. Physik, S. 451ff kann ich das auch für Liniendrähtleitungen machen

$L' = \frac{L}{a}$ Induktivitätsbelag
 $C' = \frac{C}{a}$ Kapazitätsbelag
 mit $a =$ Leiterlänge

$L' = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \left(\ln \frac{2L}{r} - \frac{3}{4} \right)$ Induktivitätsbelag
 $L =$ Leiterlänge
 $r =$ Leiterradius

Man muß C' für den Liniendraht berechnen. Dazu betrachte ich meinen Physik-Klausurauftrag S. 167ff \rightarrow Feldstärke eines geraden Leiterstücks

Aus Symmetriegründen ist $E_x = 0$
 Außerdem ist an der Leiteroberfläche $E_y = \frac{(x-x_0)y_0}{y_0^2+z_0^2} \cdot \left[(x-x_0)^2 + y_0^2 + z_0^2 \right]^{-1/2} \cdot \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{L}$
 und $E_z = \frac{(x-x_0)z_0}{y_0^2+z_0^2} \cdot \left[(x-x_0)^2 + y_0^2 + z_0^2 \right]^{-1/2} \cdot \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{L}$
 (Lit. Klausurauftrag S. 169)

Da wir den Ekt in der xy -Ebene bei $z_0=0$ betrachten, ist $E_z=0 \Rightarrow |\vec{E}| = E_y = \frac{(x-\frac{1}{2}L) \cdot R}{R^2} \cdot \left[(x-\frac{1}{2}L)^2 + R^2 \right]^{-1/2} \cdot \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{L}$
 Werte nach (*) einsetzen

Für's Potential muß ich anders integrieren, nämlich über die Potentiale der Liniendrähte

$$\phi = \int_0^L d\phi = \int_0^L \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{L} \cdot \frac{1}{\sqrt{(x-x_0)^2 + y_0^2 + z_0^2}} dx = \left[\ln \left(\frac{L + \sqrt{L^2 + 4R^2}}{-L + \sqrt{L^2 + 4R^2}} \right) \right] \cdot \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{L}$$

 als Potential gegen ∞ pro Meter Leiter $L=1m$ (Potentialbelag)
 MathCAD

l = Leiterlänge
 R = Leiterradius

⇒ Kapazitätsbezug des Einzelleiters $C' = \frac{Q}{\phi \cdot l} = \frac{4\pi\epsilon_0}{\ln\left(\frac{l+\sqrt{l^2+4R^2}}{-l+\sqrt{l^2+4R^2}}\right)}$

$\rightarrow U = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 C'}} = \sqrt{\frac{4\pi\epsilon_0}{\ln\left(\frac{l+\sqrt{l^2+4R^2}}{-l+\sqrt{l^2+4R^2}}\right)}}$

$C = \frac{1}{\sqrt{U^2 \epsilon_0}}$ in der Praxis liegen die Werte des Faktors f bei $f = 0.5 \dots 0.9$ (das ist die Länge Wurzel)

$(\times^2 \text{ von S. 1})$ und $(\times^2 \text{ von S. 2})$

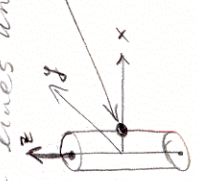
$\times 3$

Signalausbreitungsgeschwindigkeit, also $U = c \cdot f$

Der Faktor ist größer als 1. Das kann nicht sein, weil sonst $U > c$ wäre

Das C' für den Einzelleiter habe ich mir selbst überlegt - da stimmt was nicht. Das muß anders werden.

Potential an der Oberfläche eines unendlich langen Einzelleiters, wobei ich über die Leiteroffen am einfachsten in Zylinderkoordinaten integrieren kann:



Auflösst auf ob. Leiteroffen sitzt bei $\begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R/2 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$

Über alle Ladungen auf der Leiteroffen integriere ich dann in Zylinderkoordinaten wie folgt:

Man: In Zylinderkoordinaten wegen der Abstandsbedingung

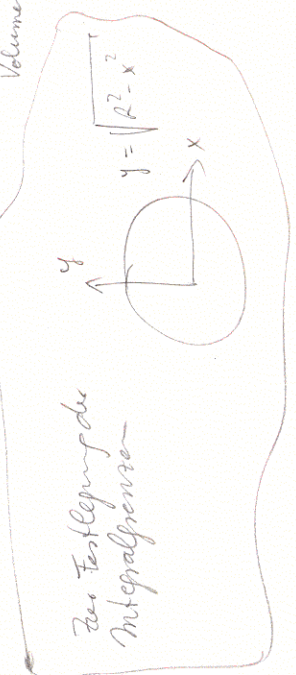
$\phi = \lim_{l \rightarrow \infty} \int_{-l}^{+l} d\phi = \lim_{l \rightarrow \infty} \int_{-l}^{+l} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{\pi R^2 \cdot 2l} \cdot \frac{1}{\sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2}} dV$

$\frac{1}{\sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2}}$ = 1-Potential

Ladung verteilt sich homogen im Volumen des Drahtes

$\int_{x=-R}^{+R} \int_{y=-\sqrt{R^2-x^2}}^{+\sqrt{R^2-x^2}} \int_{z=-l}^{+l} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{\pi R^2 \cdot 2l} \cdot \frac{1}{\sqrt{(x-\frac{R}{2})^2 + y^2 + z^2}} dz dy dx$

Hier wurde (x^2) eingeklammert, die Lage des Aufpunkts



Im Straßß MathCAD müßt den Nutzen für die Berechnung von Hand sehe ich im Moment nicht.

⇒ Setze einfachen Faktor f in (\times^3) mit $f = \frac{2}{3}$ ein

Damit will ich nun auf die Signallaufzeit einzeln Pulse im LC-Schwingkreis zurückkommen

Laden und Entladen des Kondensators

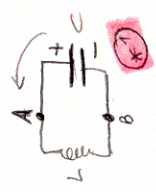
Stöcker S. 471: Ladestrom $I_L(t) = I_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$
 (Taschenrechner der Physik) Ladepotential $U_L(t) = U_0 \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$
 $\tau = R \cdot C$
 mit $I_0 = \frac{U_0}{R}$ und $U_0 = \frac{Q}{C}$

Entladepotential $U_C(t) = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$
 Entladestrom $I_C(t) = I_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$
 $\tau = R \cdot C$

Laden und Entladen einer Spule

Stöcker S. 472
 (Taschenrechner der Physik) Ladestrom $I_L(t) = I_0 \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$
 Ladepotential $U_L(t) = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$
 mit $\tau = \frac{L}{R}$
 mit $I_0 = \frac{U_0}{R}$
 $\tau = \frac{L}{R}$

Damit muß ich nun probieren, wie ich gemäß (*3 von S. 1) Ladungselemente herumfließen lassen kann
 Ist der Kondensator geladen, so möchte er sich über die Spule entladen



Das geht endlich schnell

Idee für Rechenweg \rightarrow iterativ am Computer (das ist sowieso das Ziel) ::

\rightarrow Wie SpL für Strom und Spannung hinschreiben und daraus berechnen, wann wieder Ladung fließt. Das dann mit endlich kleinen Zeitintervallen (z.B. $\Delta t = 1ms$) machen.

\rightarrow Zum fließen der Ladung braucht es die SpL für den Strom \rightarrow dann hat man hintere Zeit-Elemente.

\rightarrow Auf der Weg über die Änderung des Stroms mit der Zeit macht einen Sinn.

\rightarrow Dazu betrachte ich die Zeichnung (*) die Punkte A und B und nehme die selben SpL in der Ladung wie in meiner 3.-Semester Physik-Vorlesung

- Kirchhoff's Maschenregel \rightarrow Die Summe aller Spannungen in einer Masche ist Null: $U_1 + U_2 + \dots + U_N = 0$; Vorzeichen der Spannung nach Umlaufsinn
- Kirchhoff's Knotenregel \rightarrow Die Summe aller Ströme an einem Knoten ist Null: $I_1 + I_2 + \dots + I_N = 0$; Vorzeichen des Stroms nach Flussrichtung

- Kondensator $C = \frac{Q}{U_c} \Rightarrow U_c = \frac{1}{C} \cdot Q$ Maschenregel $U_c + U_L = 0 \Rightarrow \frac{1}{C} Q - L \ddot{Q} = 0$
- Spule, Induktionsgesetz $U_L = -L \cdot \ddot{Q}$
- Kondensator (*) $\Rightarrow \dot{Q} = I = \frac{d}{dt} (C \cdot U_c)$ Knotenregel $\Rightarrow \frac{d}{dt} (C \cdot U_c) - \int \frac{1}{L} \cdot U_L dt = 0 \Rightarrow \frac{d}{dt} (C \cdot U_c) = \int \left(\frac{1}{L} \cdot U_L \right) dt$
- Spule, Induktionsgesetz (*) $\Rightarrow \dot{Q} = I = \int -\frac{1}{L} \cdot U_L dt$

Somit kann ich eigentlich einen Computer-Algorithmus starten und ausrechnen, wo wieviel Ladung aus dem Kondensator in die Spule abfließt (in $\Delta t \approx 1 \mu s \dots 1 ns$ - Schritten) bzw wieder aus der Spule zurück in den Kondensator - und mit welcher Geschw diese Ladung fließen muß, damit den elekt Schwingkreis reproduzieren kann.

- So kann:
1. Schritt: Kondensator ist auf max Spannung aufgeladen, Spule ist stromfrei
 2. Schritt: Q_c bekannt; $\dot{Q}_c \neq 0$; (*) liefert \ddot{Q}
 \rightarrow Damit ändert sich während $\Delta t (=1 ns)$ der Ladungszustand des Kondensators und es fließt ein Strom in die Spule
 gemäß (*) 1
 gemäß (*) 2
 \rightarrow Neues Q_c , \dot{Q}_c , I_L etc... berechnen
 Schritt

Wird es für den Pascal-Algorithmus noch brauche:

Kapazität eines Plattenkondensators $C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{d}$ mit $A = \text{Plattenfläche}$
 $d = \text{Plattenabstand}$

Induktivität einer Spule $L = \mu_0 \mu_r \cdot \frac{N^2}{l} \cdot A$ mit $N = \text{Windungszahl}$
 $l = \text{Länge des Spulenzyklinders}$
 $A = \text{Querschnittsfläche (des Spulenzyklinders)}$; $A = \pi R^2$ für Zylinderspule

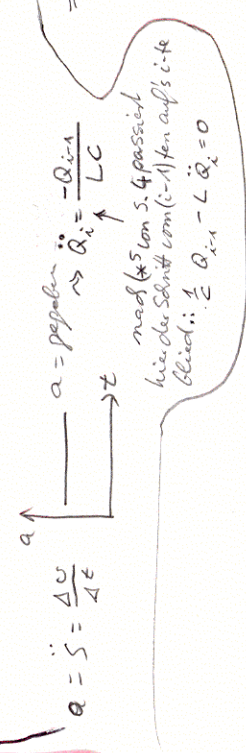
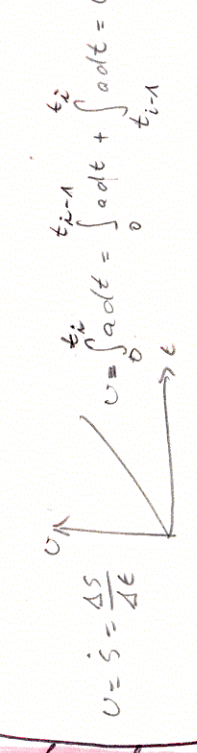
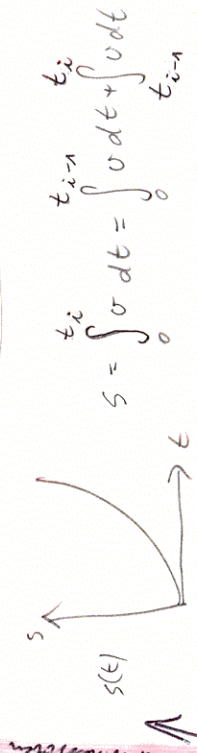
Der ohm'sche Widerstand des Spulendrahtes ist $R = \rho \cdot \frac{l}{A_d} = \rho \cdot \frac{2\pi R \cdot N}{A_d}$ mit $R = \text{Spulenradius}$

mit $S =$
 $A_d = \text{draht-Länge}$
 $A_d = \text{draht-Querschnittsfläche}$

1. Teil: Harmonische Schwingung ohne Dämpfung

Zum Rascal-Epm "Schwingkreis: dpr"
 L&R geben vor nach (*), *2, *5 von S.4): (1) Spannung über dem Kondensator ausrechnen
 (2) Diese Spannung liegt über der Spule $U_c = U_L = -L \ddot{Q} \Rightarrow \ddot{Q}$ U_L für \ddot{Q} ($t=0$) ist hier berechnet: $\ddot{Q} = -\frac{U_c}{L} = +\frac{U_c}{L}$
 (3) Es den nächsten Schritt andert \ddot{Q} das \dot{Q} und außerdem ändert \dot{Q} das Q entsprechend über oben Zeitraum Δt \rightarrow den nächsten Schritt.

5.5
 mit oben
 messen
 wenn
 Starte
 von
 0
 in den
 nächsten Schritt.



$s = \int_0^{t_i} v dt = \int_0^{t_{i-1}} v dt + \int_{t_{i-1}}^{t_i} v dt = s_0 + v \cdot (t_i - t_{i-1}) = s_0 + v \cdot \Delta t$
 \uparrow
 $s_0 = s(t_{i-1})$
 $v = \int_0^{t_i} a dt = \int_0^{t_{i-1}} a dt + \int_{t_{i-1}}^{t_i} a dt = v_0 + a \cdot (t_i - t_{i-1}) = v_0 + a \cdot \Delta t$
 \uparrow
 $v_0 = v(t_{i-1})$
 $a = \int_0^{t_i} \ddot{s} dt = \int_0^{t_{i-1}} \ddot{s} dt + \int_{t_{i-1}}^{t_i} \ddot{s} dt = \ddot{s}_0 + \ddot{s} \cdot (t_i - t_{i-1}) = \ddot{s}_0 + \ddot{s} \cdot \Delta t$
 \uparrow
 $\ddot{s}_0 = \ddot{s}(t_{i-1})$

$Q = \ddot{s} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$
 \Rightarrow das Epm liefert
 \Rightarrow 21. Opsec (mit numerisches Iteration)
 $L = 0.12633 \text{ Henry}$
 $C = 8.854 \cdot 10^{-12} \text{ Farad}$
 $T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \cdot \sqrt{LC} = 2.10 \cdot 10^{-5} \text{ sec}$
 $\omega = 2\pi f \Rightarrow f = \frac{\omega}{2\pi}$
 $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

nach (*3) von S.4 passiert
 hier der Schritt von (i-1)ten auf's i-te
 Bleibt: $\frac{1}{2} Q_{i-1} - L \ddot{Q}_i = 0$

pag 1!

2. Teil: Gedämpfte Schwingung, mit Ohm'schem Widerstand:

Jetzt wird (*1 von S.3) zu



- Kondensator $\Rightarrow C = \frac{Q}{U_c} \Rightarrow U_c = \frac{1}{C} \cdot Q$
- Spule, Induktionsgesetz $\Rightarrow U_L = -L \cdot \dot{I} = -L \cdot \ddot{Q}$
- Ohm'scher Widerstand $\Rightarrow U_R = R \cdot I = R \cdot \dot{Q}$

Somit wird die vgl von (*1, *2, *5 von S.4) wie folgt angewendet:

median Analogon $m \ddot{y} - \beta \dot{y} - \gamma y = 0$
 Maschenregel $U_c + U_R + U_L = 0 \Rightarrow -L \ddot{Q} + R \dot{Q} + \frac{1}{C} Q = 0$
 $U_L + U_R = -U_c \Rightarrow U_L = -U_c - U_R$

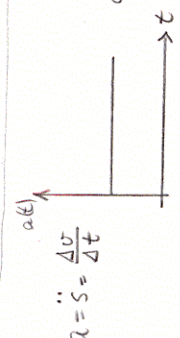
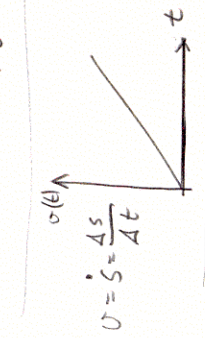
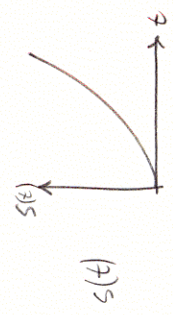
Da der Spulendraht selbst den Ohm'schen Widerstand erzeugt, sind die beiden Berechnende L & R in einem Gebilde zu sehen.

Entsprechungs/Analogietabelle
 elektr. median
 $L \leftrightarrow m$
 $R \leftrightarrow \beta$
 $1/C \leftrightarrow \gamma$

Wir machen wieder die Integration analog zu (*) von S.5), setzen jetzt aber (*², *³, *⁴, *⁵, *⁶ von S.5) ein:

$$s = \int_0^{t_i} v dt + \int_{t_{i-1}}^{t_i} v dt = s_0 + v \cdot \Delta t, \quad \text{entsprechend } \dot{Q}_i = Q_{i-1} + \dot{Q}_i \cdot \Delta t \quad (*)$$

\uparrow
 $s_0 = s(t_{i-1})$



Anderes als auf S.5 kommt jetzt die Beschleunigung und zusätzlich eine Geschwindigkeits-proportionale Reibung

Die Kraft lautet also $F = m a_c - \beta v$ (mit $\beta = 6\pi\eta r$ und bei visk. Reibung $F_R = 6\pi\eta r v$) $\Rightarrow a_p = \frac{F}{m} = a_c - \frac{\beta}{m} v$ (*)

$$\Rightarrow v(t) = \int_0^{t_i} a_{ps} dt + \int_{t_{i-1}}^{t_i} a_{ps} dt = v_0 + a_{ps} \cdot \Delta t = v_0 + \left(a_c - \frac{\beta}{m} v\right) \cdot \Delta t = v_0 + a_c \cdot \Delta t - \frac{\beta}{m} v \cdot \Delta t$$

\uparrow
 $v_0 = v(t_{i-1})$

entsprechend der elektr. Analogie $\dot{Q}_i = \dot{Q}_{i-1} + \left(\ddot{Q}_i - \frac{R}{L} \dot{Q}_i\right) \cdot \Delta t$

$a_c = ? \rightarrow$ elektr. $\ddot{Q}_i = \frac{R \dot{Q}_{i-1} + \frac{Q_{i-1}}{C}}{L}$

(ist es auch nicht, a_c = gegeben (muss nicht konstant sein))

nach (*) von S.5) passiert hier das selbe mit dem (i-ten auf's i-te Glied

$$-L \ddot{Q}_i + R \dot{Q}_{i-1} + \frac{1}{C} Q_{i-1} = 0 \Rightarrow \ddot{Q}_i = \frac{R \dot{Q}_{i-1} + \frac{1}{C} Q_{i-1}}{L} = \frac{R}{L} \dot{Q}_{i-1} + \frac{1}{LC} Q_{i-1}$$

\uparrow so passt die Maschenregel dann in meine bgl.

Hier kann ich \ddot{Q}_{i-1} in Näherung ein = setzen oder analytisch auflösen nach \dot{Q}_i :

$$\dot{Q}_i = \frac{\dot{Q}_{i-1} + \frac{Q_{i-1}}{L} \cdot \Delta t}{1 + \frac{R}{L} \cdot \Delta t} \quad (*)$$

Kontrolle mit den klassischen Formeln der gedämpften Schwingung:

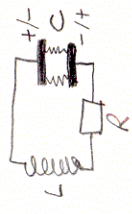
$L = 1.26331 \cdot 10^{-1}$ Henry und die Flut der Lsg.: $y = A_0 \cdot e^{-\delta t} \cdot \sin(\omega_d t + \varphi_0)$
 $C = 8.85419 \cdot 10^{-11}$ Farad mit $\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}}$ und $\omega_d = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}$, wenn $\delta = \frac{R}{2L}$
 $R = 2000 \Omega$ A_0 & φ_0 werden aus Anfangsbedingungen bestimmt
 $y(0) = 338.82 \text{ Volt}$ $\dot{y}(0) = 0$

Typischer fehlt im Faktor 2 zwischen der klassischen Theorie und meinem Algorithmus. Vermutlich ist es bei meinem Algorithmus falsch, da aber mein Algorithmus um einen Faktor zwei stärker dämpft, als die klassische Theorie, arbeitet es zu Sicherheit mit meinem Algorithmus. Wenn der zum Aufschaukeln führt / Wandler von Raumenergie, dann macht's die weniger gedämpfte klassische Spl-Theorie erst recht.

?

3. Teil: Raumladungswandele Schwingung mit oszillierenden Kondensatorplatten

5.7



Man müssen die Kondensatorplatten mit Teilern verbunden werden, sodaß sich die Kapazität \leq als Teil der Zeit verändern kann.

Dabei sind die Teilern mechanische Elemente, die mechanisch schwingen

Zahlenbsp für einen möglichen schwingenden Kondensator: (Frühkaltfolie)

Mylar-Folie auf Klebendunstel \rightarrow Folienstärke $d = 10 \mu m$
 Schlüsselradius $r = 10 cm$ (Knapp: $\sim 9.5 cm$)

Hauptkondensator-Münze $m = 18 Gramm$: $f = 5 Hz$
 Hauptkondensator-Radiumpumpe $m = 12 Gramm$: $f = 10 Hz$

$$2\pi f = \omega = \sqrt{\frac{D}{m}} \Rightarrow D = 2\pi f \cdot m^2 \Rightarrow \text{Münze: } D \approx 159 \frac{N}{m} \quad \text{Ergebnis}$$

$$\text{Radiumpumpe: } D \approx 6280 \frac{N}{m} \quad D = 500 \frac{N}{m}$$

hängt sehr stark von der Spannung der Membran ab.

Außerdem: In der Schlüsselmitte viel Schwingung, außen wenig.

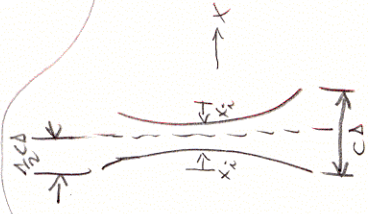
Folgende Konfiguration kann man herstellen:

In der Mitte eine Scheibe mit $A = 100 cm^2$ Fläche bedecken, z.B. Alu $10 \mu m$ dick. Der Teil außen herum wird als Rückstellfeder betrachtet.

Die Alu-Bedampfte Fläche wiegt $m = \underbrace{0.01 m^2}_{A} \times \underbrace{10^{-5} m}_{d} \times \underbrace{2700 \frac{kg}{m^3}}_{\rho_{Alu}} + \underbrace{0.01 m^2}_{A} \times \underbrace{10^{-5} m}_{d} \times \underbrace{1000 \frac{kg}{m^3}}_{\rho_{Mylar}} = 3.7 \cdot 10^{-4} kg$

Damit sind Federkonstante nach (*) und schwingende Masse nach (*) bekannt.

Die beiden Kondensatorplatten sind zu Beginn 1mm auseinander, abgibt diese Vorformung $x[0] \therefore$



So, nun führen die Kondensatorplatten eine mechanische Schwingung aus, deren Bewegung mit der Bewegung der Ladung des elektr. Schwingkreises abgestimmt werden muß.

Die median. Schwingung machen wir ohne Reibung (Kondensatorplatten im Vakuum) in Ableitung an S.5

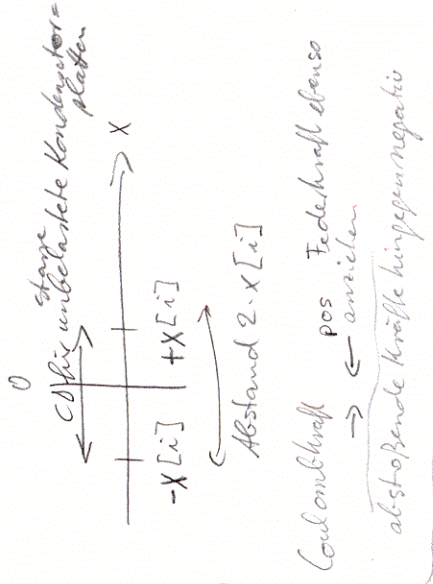
S.8

$$m \cdot \ddot{X}_i = -\underbrace{D \cdot X_{i-1}}_{\text{Federkraft}} + \underbrace{\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_{i-1}^2}{(CD + X_{i-1})^2}}_{\text{hier wirkt noch die Coulombkraft zwischen den Kondensatorplatten}}$$

$$\Rightarrow \ddot{X}_i = -\frac{D}{m} X_{i-1} + \frac{1}{m \cdot 4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_{i-1}^2}{(X_{i-1})^2}$$

$$\Rightarrow \dot{X}_i = \dot{X}_{i-1} + \ddot{X}_i \cdot \Delta t$$

$$\Rightarrow X_i = X_{i-1} + \dot{X}_i \cdot \Delta t$$



Kondensatorplattenpositionen bei $\pm \frac{CD}{2} \pm X_i$, also $p_1 = -\frac{CD}{2} - X_i$ und $p_2 = \frac{CD}{2} + X_i$

Kraft zwischen den Kondensatorplatten

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_i^2}{(CD + 2X_i)^2} = -\underbrace{D \cdot X_i}_{\text{Coulombkraft = Auslenungskraft der Feder}}$$

Auflösen nach X_i mit MathCAD \Rightarrow Bzgl. eine davorst reell
Die Bedingung braucht ist im Prinzip die Schleifen so oft, daß ist das unbedingt analytisch auflösen muß (ausklammern die Bedezent).

des Radikand heißt $=(*)$ und taucht hier nochmals auf
computerfile auflösen nach X_i "pncd"

MathCAD macht hier Schreibe

Ableitung:

$$S1 := \sqrt[3]{\left[CD^3 \cdot D \cdot 4\pi\epsilon_0 - 27q_i^2 + 3 \cdot \left(-3q_i^2 \cdot (2 \cdot CD \cdot D \cdot 4\pi\epsilon_0 - 27q_i^2) \right) \right] \cdot D^2 \cdot (4\pi\epsilon_0)^2}$$

$$Lsg \quad X_i = \frac{-S1}{12D \cdot 4\pi\epsilon_0} - \frac{\frac{1}{12} \cdot CD^2 \cdot D \cdot 4\pi\epsilon_0}{S1}$$

Eigene Umformung $(*)^1$ $\left| \cdot \frac{(CD + 2X_i)^2}{-D} \right.$

Ableitung

$$\Rightarrow \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_i^2}{(-D)} = X_i \cdot (CD + 2X_i)^2$$

$$Q = X_i \cdot (CD + 2X_i)^2$$

iterative Lsg suchen \rightarrow Funktion "lsgpos".

$$\frac{CD}{2} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

in der iterativen Funktion "lsgpos" habe ich das abgefangen.

Nein, das Problem ist
Schleife weil sich die Platten berühren können.

Kapazität des Plattenkondensators $C = \epsilon_0 \epsilon_r \cdot \frac{A}{d} \leftarrow$ Plattenfläche
 $d \leftarrow$ Plattenabstand

Berechnung der Energie der Schwingung

5.9

in dem Moment, in dem

Mechanisch: $W_{\text{mech}} = \frac{1}{2} m A^2 \omega^2 \rightarrow$ Herleitung: \leftarrow alle Energie in der Feder gespeichert ist, gilt $W_{\text{mech}} = \frac{1}{2} A^2$
 \uparrow
 $A = \text{maxim. Amplitude}$

Mit $\omega = \sqrt{\frac{1}{m}} \Rightarrow \Delta = \omega^2 m \Rightarrow W_{\text{mech}} = \frac{1}{2} \omega^2 m A^2$

Elektrisch: $W_{\text{el}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{C} \cdot Q^2 = \frac{1}{2} C U^2$

Mit $\omega = \sqrt{\frac{1}{LC}}$ folgt $\frac{1}{C} = \omega^2 L \Rightarrow W_{\text{el}} = \frac{1}{2} \omega^2 L Q^2$, wo $Q = \text{Ladungsamplitude}$

Zur Bestimmung des ω :

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi \cdot \frac{1}{2} \cdot 20 \times}{T} = \frac{T \cdot 20 \times}{N \cdot dt}$$

$$T = \frac{N \cdot dt}{\frac{1}{2} \cdot 20 \times}$$

Ergebnis: File "05" gibt median: $6.118 \cdot 10^{-13}$ Joule ab
nimmt nimmt abt: $3.057 \cdot 10^{-9}$ Joule auf
innerhalb 10.5 sec

DFEM-Berechnung des LC - Schwingkreises:

epo = 8.85418781700E-0012; $\epsilon_0 \mu_0$ = 1.025663706143E-0006; c^2 = 299792458011E+0008
C = 1.32812817255E-0010 Farad; Henry = 1.085119277388E+0006
Klass. Schwingkreis, Eingenfrequ. fo = 2*pi/Sqrt(L*C) = 4200713570669926E+0002 Hz
=> Schwingungsdauer T=1/fo = 9.85202910357044E-0002 sec
Ohm'scher Widerstand des Spulendrahtes: 1.47050000000000E+0003 Ohm
Drahtlaenge des Spulendrahtes: 1.08699105814206E+0004 Meter
Querschnittsfläche des Spulendrahtes: 0.12566 mm²
Volumen der Spule: 1365.95325 cm³
Gewicht der Spule: 12184.30298 Gramm
Spannung ueber dem Kondensator zu Beginn: 1.50588 Volt
Ges. Zeitspanne der Berechnung: 1.05900000000000E+0001 sec. in 30000 Schritten

Daten der mechanischen Schwingung der Kondensatorplatten:
Masse der Kondensatorplatten $m = 0.20400$ Gramm $\quad f_{Pol} = 11.1430749$ Hz
Schwingungseigenfrequenz der Kondensatorplatten: $f_{Pol} = 11.1430749$ Hz
Anziehung jeder Kondensatorplatte zu Beginn: Kraft $F = 1.14663312246861E-0004$ N
Verformung jeder Kondensatorplatte zu Beginn: $F/D = 1.14663312246861E-0004$ m
Plattenposition der ungeladenen Kondensatorplatten: $d = 1.00000000000000E-0003$ m
Plattenposition, geladen, zu Beginn: $XI01 = 8.85336687753140E-0004$ m
Genauigkeit der Plattenposition: Δ Differenzkraft: $-1.93801138331784E-0018$ N
Startposition der Platten für die Schwingg. Teil 1: $3.00000000000000E-0001$ m
Kapazitaet des unverformten Kondensators: $C = 1.32812817255000E-0010$ Farad
Kapazitaet des verformten Kondensators: $CI01 = 1.50013908936791E-0010$ Farad
Dabei: Erhöhung der Kapazitaet um $1.72010916817913E-0011$ Farad
Gesamtdauer der Berechnung: $1.05900000000000E+0001$ sec.

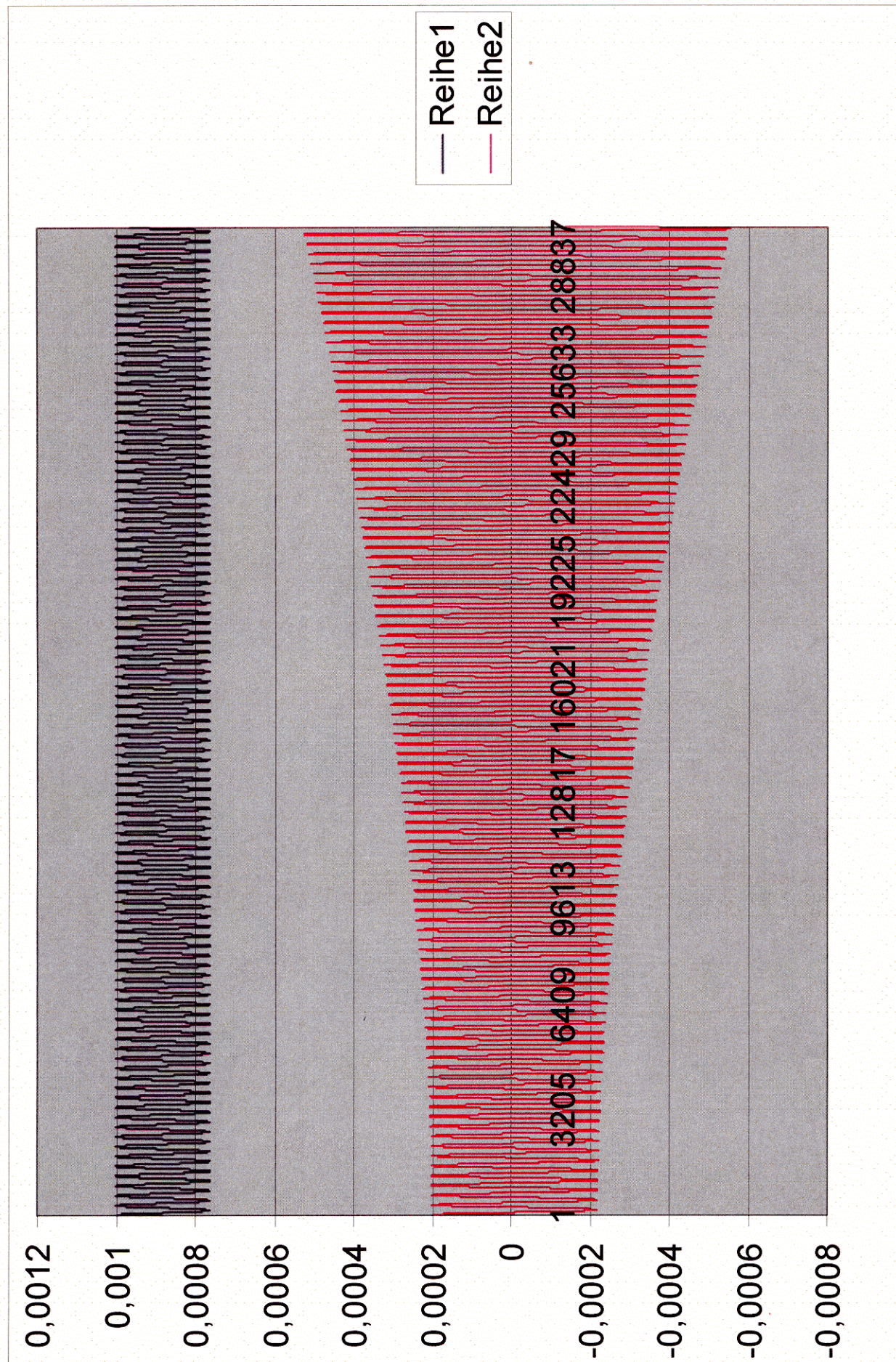
Gesamtaenderung, Orts-Amplitude: +Kreisfrequenz omega=	is 5.93313060168044E+00001	1.30601
1.44898064456233E-0008		
Mechanische Energie zu Beginn: ne	1.98100153733055E-0008	Joule
Mechanische Energie am Ende: Ene	1.98124595487441E-0008	Joule
Mechan. Energie-Verönderung: r	2.44417543857729E-0012	Joule
Gesamtaenderung, Ladg-Amplitude: +	1.6146913574014936E-0010	1.3574014936E-0010
Elektrische Energie zu Beginn: ne	5.71699653719818E-0010	Joule
Elektrische Energie am Ende: Ene	3.70113863058697E-0009	Joule
Elektr. Energie-Verönderung: r	3.12943897686715E-0009	Joule

Summe: Gesamt-Energiegewinn: 3.13188315230572E+009 Joule

3. 1429

$$D = 1.00 \frac{\mu\text{m}}{\text{mm}}$$

$$\mu_N = 12534$$



Raumenergie_Schwingkreis

```

Program Harmonischer_Oszillator_im_DFEM;
{$APPTYPE CONSOLE}
uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs;

Var epo,muo      : Double; {Naturkonstanten}
    v            : Double; {Propagationsgeschwindigkeit der Ströme}
    CA,CD,C      : Double; {Platten-Kondensator: Plattenfläche, Plattenabstand,
Kapazität}
    GG3         : Double; {Gleichgewichtsposition der flexiblen Platten, Teil
3, Federkraft=Coulombkraft}
    SP3         : Double; {Plattenabstand mit flexiblen Platten, Teil 3,
mechanische Vorspannung}
    UC,UL{,UR}   : Double; {Spannung über Kondensator, Spule, Widerstand}
    SN,SL,SA,SR  : Double; {Luft-Spule: Windungszahl, Spulenlänge,
Querschnittsfläche, Spulen-Radius}
    L           : Double; {Induktivität der Luft-Spule}
    DL          : Double; {Drahtlänge des Spulendrahtes}
    epr,mur      : Double; {Epsilon_r und Mü_r für Kondensator und Spule}
    rho,R        : Double; {spezifischer und Ohm'scher Widerstand des
Spulendrahtes}
    AD          : Double; {Querschnittsfläche des Spulendrahtes}
    Q,Qp,Qpp     : Array[0..200000] of Double; {Ladung auf dem Kondensator als
Fkt der Zeit}
    x,xp,xpp     : Array[0..200000] of Double; {Auslenkung jeder einzelnen
Kondensatorplatte}
    dt          : Double; {Zeitschritte}
    N           : LongInt; {Anzahl der Zeitschritte insgesamt}
    i           : LongInt; {Laufvariable zum Durchzählen der Zeitschritte}
    Abstd       : Integer; {Jeder wievielte Punkte soll geplottet werden}
    rhoAL,rhoFol : Double; {Dichte von Aluminium und Folie}
    dAL,dFol    : Double; {Dicke der Aluminium-Kondensatorplatten und der
Folie}
    D           : Double; {Federsteifigkeit der Federn zwischen den
Kondensatorplatten}
    m           : Double; {(mechanische) Masse der
Aluminium-Kondensatorplatten}
    omfol,fFol  : Double; {Eigenkreisfrequenz und Eigenfrequenz der
Kondensatorplatten-Schwingung}
    F           : Double; {Anziehungskraft zwischen den Kondensatorplatten}
    Stern1      : Double; {Hilfsvariable}
    Fc,Fd       : Double; {Kräfte: Coulombkraft und Federkraft}
    MacheFiles  : Boolean; {Sollen die Ergebnisse auf die Magnetplatte
geschrieben werden ?}
    om          : Double; {Kreisfrequenz Omega}

Procedure wait;
Var Ki : Char;
begin
  Write('<w>'); Read(Ki); Write(Ki);
  If Ki='e' then Halt;
end;

Procedure Excel_Datenausgabe(Name:String);
Var fout : Text; {Daten-File zum Aufschreiben der Ergebnisse}
    Zahl : String;
    lv,j : Integer; {Laufvariable}
    A0 : Double; {abklingende Amplitude der gedämpften Schwingung}
begin {Daten für Excel aufbereiten und ausgeben;}
  Assign(fout,Name); Rewrite(fout); {File öffnen}
  For lv:=0 to N do {von "plotanf" bis "plotend"}
    begin
      If (lv mod Abstd)=0 then
        begin
          { Zuerst die Zeit als Argument;}
          Str(lv*dt*1e6{nano_sec.}:14:10,Zahl);
          For j:=1 to Length(Zahl) do
            begin {Keine Dezimalpunkte verwenden, sondern Kommata}

```



```

Raumenergie_Schwingkreis
    If Zahl[j]<>'.' then write(fout,Zahl[j]);
    If Zahl[j]='.' then write(fout,',');
end;
write(fout,chr(9)); {Daten-Trennung}
{
Dann als (erste) Funktion die Spannung über dem Kondensator:}
Str(Q[lv]/C{Volt}:14:7,Zahl);
For j:=1 to Length(Zahl) do
begin {Keine Dezimalpunkte verwenden, sondern Kommata}
    If Zahl[j]<>'.' then write(fout,Zahl[j]);
    If Zahl[j]='.' then write(fout,',');
end;
write(fout,chr(9)); {Daten-Trennung}
{
Dann als (zweite) Funktion die Einhüllende der abklingenden Schwingung:}
A0:=Q[0]/C/sin(arctan(sqrt(1/L/C-R*R/4/L/L)/(R/2/L))); {klassische}
Str(A0*exp(-R/2/L*lv*dt){Volt}:20:10,Zahl); {Formeln}
For j:=1 to Length(Zahl) do
begin {Keine Dezimalpunkte verwenden, sondern Kommata}
    If Zahl[j]<>'.' then write(fout,Zahl[j]);
    If Zahl[j]='.' then write(fout,',');
end;
writeln(fout,''); {Zeilen-Trennung}
end;
end;
close(fout);
end;

```

```

Procedure Excel_andere_Ausgabe(Name:String);
Var fout : Text; {Daten-File zum Aufschreiben der Ergebnisse}
    Zahl : String;
    lv,j : Integer; {Laufvariable}
begin {Daten für Excel aufbereiten und ausgeben:}
    Assign(fout,Name); Rewrite(fout); {File öffnen}
    For lv:=0 to N do {von "plotanf" bis "plotend"}
    begin
        If (lv mod Abstd)=0 then
        begin
            {
            Zuerst die Zeit als Argument:}
            Str(lv*dt*1e6{nano_sec.}:14:10,Zahl);
            For j:=1 to Length(Zahl) do
            begin {Keine Dezimalpunkte verwenden, sondern Kommata}
                If Zahl[j]<>'.' then write(fout,Zahl[j]);
                If Zahl[j]='.' then write(fout,',');
            end;
            write(fout,chr(9)); {Daten-Trennung}
            {
            Erste Funktion: }
            Str(x[lv]{Volt}:20:14,Zahl);
            For j:=1 to Length(Zahl) do
            begin {Keine Dezimalpunkte verwenden, sondern Kommata}
                If Zahl[j]<>'.' then write(fout,Zahl[j]);
                If Zahl[j]='.' then write(fout,',');
            end;
            write(fout,chr(9)); {Daten-Trennung}
            {
            Zweite Funktion: }
            Str(Q[lv]*1E6{Volt}:20:14,Zahl);
            For j:=1 to Length(Zahl) do
            begin {Keine Dezimalpunkte verwenden, sondern Kommata}
                If Zahl[j]<>'.' then write(fout,Zahl[j]);
                If Zahl[j]='.' then write(fout,',');
            end;
            writeln(fout,''); {Zeilen-Trennung}
            end;
        end;
    end;
    close(fout);
end;

```

```

Procedure Excel_Raumenergieausgabe(Name:String);
Var fout : Text; {Daten-File zum Aufschreiben der Ergebnisse}
    Zahl : String;

```



```

Raumenergie_Schwingkreis
lv,j : Integer; {Laufvariable}
begin {Daten für Excel aufbereiten und ausgeben:}
Assign(fout,Name); Rewrite(fout); {File öffnen}
For lv:=0 to N do {von "plotanf" bis "plotend"}
begin
If (lv mod Abstd)=0 then
begin
{
Zuerst die Zeit als Argument:}
Str(lv*dt*1e6{nano_sec.}:14:10,Zahl);
For j:=1 to Length(Zahl) do
begin {Keine Dezimalpunkte verwenden, sondern Kommata}
If Zahl[j]<>'.' then write(fout,Zahl[j]);
If Zahl[j]='.' then write(fout,',');
end;
Write(fout,chr(9)); {Daten-Trennung}
{
Dann als (erste) Funktion die Spannung über dem Kondensator:}
Str(x[lv]{Volt}:14:7,Zahl);
For j:=1 to Length(Zahl) do
begin {Keine Dezimalpunkte verwenden, sondern Kommata}
If Zahl[j]<>'.' then write(fout,Zahl[j]);
If Zahl[j]='.' then write(fout,',');
end;
writeln(fout,''); {Zeilen-Trennung}
end;
end;
Close(fout);
end;

Procedure Excel_eine_Kolumne(Name:String);
Var fout : Text; {Daten-File zum Aufschreiben der Ergebnisse}
Zahl : String;
lv,j : Integer; {Laufvariable}
begin {Daten für Excel aufbereiten und ausgeben:}
Assign(fout,Name); Rewrite(fout); {File öffnen}
For lv:=0 to N do {von "plotanf" bis "plotend"}
begin
If (lv mod Abstd)=0 then
begin
Str(x[lv]{Volt}:20:14,Zahl); {Hier trage ich das zu plottende Feld ein.}
For j:=1 to Length(Zahl) do
begin {Keine Dezimalpunkte verwenden, sondern Kommata}
If Zahl[j]<>'.' then write(fout,Zahl[j]);
If Zahl[j]='.' then write(fout,',');
end;
writeln(fout,''); {Zeilen-Trennung}
end;
end;
Close(fout);
end;

Function Plapos(z:LongInt):Double; {Iterative Ermittlung der Position der
Kondensatorplatten.}
Var xs : Double; {Startwert}
sw : Double; {Schrittweite}
an,ab : Boolean;
begin
xs:=0;
If z=0 then xs:=CD/2; {Die Position der beiden Platten liegt bei +/-xs.}
If z>0 then xs:=x[z-1]; {Dies kann ggf. vom vorigen Arbeitsschritt übernommen
werden.}
sw:=xs/20;
Repeat
sw:=sw/10;
an:=false; ab:=false;
Repeat
Fc:=1/4/pi/epo*q[z]*q[z]/(2*xs)/(2*xs);
Fd:=D*(xs-CD/2); {Die Feder wird gegenüber CD ausgelenkt.}
If Fc+Fd>0 then begin xs:=xs-sw; an:=true; end;

```



```

Raumenergie_Schwingkreis
If Fc+Fd<0 then begin xs:=xs+sw; ab:=true; end;
If xs<=1e-10 then
begin
  writeln ('Plattenberuehrung. Coulombkraft ist zu stark. Algorithmus
abgebrochen.');
```

```

  wait; wait; Halt;
end;
Until (an and ab);
Until (sw<xs/1e14);
Plapos:=xs;
end;
```

```

Procedure Amplituden_anzeigen;
```

```

Var i          : Integer;
    schreibe    : Boolean;
    SteigX,SteigQ : Boolean;
    BildX,BildQ  : Array[0..200] of Double;
    zvx,zvQ      : Integer;
    eq,lq,ex,lx   : Double;
    wmech1,wmech2,wel1,wel2:Double;
```

```

begin
```

```

{ Zuerst die x-Amplituden:}
```

```

SteigX:=false; If x[1]>x[0] then SteigX:=true;
```

```

schreibe:=false; zvx:=0;
```

```

writeln('      I:      t/[sec.]      |      x/[m]      |      Q[i]');
```

```

For i:=1 to N do
```

```

begin
```

```

  If SteigX then
```

```

  begin
```

```

    If x[i]<x[i-1] then begin schreibe:=true; SteigX:=Not(SteigX);
```

```

write('X-Max:'); end;
```

```

  end;
```

```

  If Not(SteigX) then
```

```

  begin
```

```

    If x[i]>x[i-1] then begin schreibe:=true; SteigX:=Not(SteigX);
```

```

write('X-Min:'); end;
```

```

  end;
```

```

  If schreibe then
```

```

  begin
```

```

    writeln(i:6,': ',i*dt:7:5,' | ',x[i],' | ',Q[i]); {wait;}
```

```

    BildX[zvx]:=x[i]; zvx:=zvx+1;
```

```

  end;
```

```

  schreibe:=false;
```

```

end;
```

```

zvx:=zvx-1;
```

```

{ Danach die Q-Amplituden:}
```

```

SteigQ:=false; If Q[1]>Q[0] then SteigQ:=true;
```

```

schreibe:=false; zvQ:=0;
```

```

writeln('      I:      t/[sec.]      |      x/[m]      |      Q[i]');
```

```

For i:=1 to N do
```

```

begin
```

```

  If SteigQ then
```

```

  begin
```

```

    If Q[i]<Q[i-1] then begin schreibe:=true; SteigQ:=Not(SteigQ);
```

```

write('Q-Max:'); end;
```

```

  end;
```

```

  If Not(SteigQ) then
```

```

  begin
```

```

    If Q[i]>Q[i-1] then begin schreibe:=true; SteigQ:=Not(SteigQ);
```

```

write('Q-Min:'); end;
```

```

  end;
```

```

  If schreibe then
```

```

  begin
```

```

    writeln(i:6,': ',i*dt:7:5,' | ',x[i],' | ',Q[i]); {wait;}
```

```

    BildQ[zvQ]:=Q[i]; zvQ:=zvQ+1;
```

```

  end;
```

```

  schreibe:=false;
```

```

end;
```


Raumenergie_Schwingkreis

```

zvQ:=zvQ-1;
{ Jetzt der Überblick über "Spitze-Spitze":}
writeln('Orte, Spitze-Spitze:');
i:=2; ex:=BildX[i]-BildX[i-1];
Repeat
  writeln(i,': ',BildX[i]-BildX[i-1]);
  lx:=BildX[i]-BildX[i-1];
  i:=i+2;
Until (i>=zvQ);
writeln('Ladungen, Spitze-Spitze:');
i:=2; eq:=BildQ[i]-BildQ[i-1];
Repeat
  writeln(i,': ',BildQ[i]-BildQ[i-1]);
  lq:=BildQ[i]-BildQ[i-1];
  i:=i+2;
Until (i>=zvQ);
write('Gesamtaenderung, Orts-Amplitude: ');
If Abs(lx)>Abs(ex) then write('+');
If Abs(lx)<Abs(ex) then write('-');
om:=pi*zvQ/N/dt; writeln('Kreisfrequenz omega= ',om);
writeln(Abs(lx-ex));
wmech1:=m/2*(ex*ex)*om*om; wmech2:=m/2*(lx*lx)*om*om;
writeln('Mechanische Energie zu Beginn: ',wmech1,' Joule');
writeln('Mechanische Energie am Ende: ',wmech2,' Joule');
writeln('Mechan. Energie-Veränderung: ',wmech2-wmech1,' Joule');
write('Gesamtaenderung, Ladg-Amplitude: ');
If Abs(lq)>Abs(eq) then write('+');
If Abs(lq)<Abs(eq) then write('-');
writeln(Abs(lq-eq));
wel1:=L/2*(eq*eq)*om*om; wel2:=L/2*(lq*lq)*om*om;
writeln('Elektrische Energie zu Beginn: ',wel1,' Joule');
writeln('Elektrische Energie am Ende: ',wel2,' Joule');
writeln('Elektr. Energie-Veränderung: ',wel2-wel1,' Joule'); writeln;
writeln('Summe: Gesamt-Energiegewinn: ',wmech2-wmech1+wel2-wel1,' Joule');
writeln;
end;

Begin {Hauptprogramm}
{ Initialisierung - Vorgabe der werte: }
{ Allgemeine werte: }
epo:=8.854187817E-12{As/Vm}; {Magnetische Feldkonstante}
muo:=4*pi*1E-7{Vs/Am}; {Elektrische Feldkonstante}
v:=Sqrt(1/muo/epo){m/s}; {Zunächst Lichtgeschw. als Bewegungsgeschw. der
Ladungen}
Abstd:=1; {Jeder wievielte Punkte soll geplottet werden}
{ Kondensator: }
CA:=0.1*0.1{m^2}; CD:=0.002{m}; {Kondensator-Geometrie, Plattenfläche,
Plattenabstand}
epr:=3; {Dielektrikum im
Kondensator}
C:=epo*epr*CA/CD; {Kapazität des unverformten
Platten-Kondensators}
{ Spule: }
SN:=34600; SL:=0.08{m}; SR:=0.05{m}; SA:=pi*SR*SR{m^2};
{Spulen-Geometrie}
mur:=12534; {12264;} {Spulenkern ist nötig, zur Abstimmung der
Frequenz}
L:=muo*mur*SN*SN*SA/SL;
{Induktivität}
rho:=1.7E-8{Ohm*m}; {Spez. widerstand von Kupfer, je nach Temperatur,
Kohlrausch,T193}
AD:=pi*0.0002*0.0002{m^2}; {Querschnittsfläche des
Spulendrahtes}
R:=rho*2*pi*SR*SN/AD{Ohm}; {Ohm'scher widerstand des
Spulendrahtes}
DL:=SN*2*pi*SR; {Drahtlänge des
Spulendrahtes}
{ Mechanische Schwingung der Kondensatorplatten:}

```



```

Raumenergie_Schwingkreis
rhoAL:=2700{kg/m³}; {Dichte von Aluminium}
rhoFol:=1500{kg/m³}; {Dichte der Kunststoff-Folie}
dAL:=2e-6{m}; {Dicke der Aluminium-Kondensatorplatten: 10_Mü}
dFol:=10e-6{m}; {Dicke der Kunststoff-Folie: 10_Mü}
D:=1.0{N/m}; {Federsteifigkeit der Federn zwischen den
Kondensatorplatten}
m:=CA*dAL*rhoAL+CA*dFol*rhoFol; {(mechanische) Masse der
Aluminium-Kondensatorplatten}
omFol:=Sqrt(D/m); {Schwingungs-Eigenkreisfrequenz der
Kondensatorplatten_Folie}
fFol:=omFol/2/pi; {Schwingungseigenfrequenz der
Kondensatorplatten_Folie}
{ Start der elektrischen Schwingung: }
Q[0]:=2E-10{C}; Qp[0]:=0; Qpp[0]:=0; {Ladung auf dem Kondensator
zu Beginn}
UC:=Q[0]/C{V}; {Spannung über dem Kondensator zu Beginn, das Dielektrikum
isoliert}
dt:=3.53E-4{sec.};
{Zeitschritte}
N:=30000; {Anzahl der Zeitschritte
insgesamt}
{ Start der mechanischen Schwingung: }
x[0]:=Plapos(0); {Iterative Ermittlung der Position der
Kondensatorplatten.}
GG3:=x[0];{Gleichgewichtsposition der flexiblen Platten, Teil 3,
Federkraft=Coulombkraft}
SP3:=CD/2;{Vorgabe:Plattenabstand mit flexiblen Platten, Teil 3, mechanische
Vorspannung}
F:=1/4/pi/epo*Q[0]*Q[0]/(2*x[0])/(2*x[0]); {Anziehung nach dem
Coulomb-Gesetz}
{Der Ort jeder Platte liegt bei
CD/2+x[i]}
xp[0]:=0; xpp[0]:=0; {Festhalten der Platten bis zum
Zeitpunkt t=0}
MacheFiles:=true; {Sollen die Ergebnisse auf die Magnetplatte geschrieben
werden ?}
{ Anzeigen der Startwerte:}
writeln('DFEM-Berechnung des LC - Schwingkreises:'); writeln;
writeln('epo=',epo:20,'; muo=',muo:20,'; v=',v:20);
writeln('C=',C:20,' Farad; L=',L:20,' Henry');
writeln('Klass. Schwingkreis, Eigenfrequ.
fo=2*pi/Sqrt(L*C)=' ,2*pi/Sqrt(L*C), ' Hz');
writeln(' ==> Schwingungsdauer T=1/fo=' ,2*pi*Sqrt(L*C), ' sec. ');
writeln('ohm'scher Widerstand des Spulendrahtes:',R,' Ohm');
writeln('Drahtlaenge des Spulendrahtes:',DL,' Meter');
writeln('Querschnittsfläche des Spulendrahtes:',AD*1e6:10:5,' mm^2');
writeln('Volumen der Spule: ',DL*AD*1e6:10:5,' cm^3');
writeln('Gewicht der Spule: ',DL*AD*1e6*8.92:10:5,' Gramm'); {Dichte Cu: 8.92
g/cm^3}
writeln('Spannung ueber dem Kondensator zu Beginn:',UC:12:5,' Volt');
writeln('Ges. Zeitspanne der Berechnung: ',N*dt,' sec. in ',N,' Schritten');
writeln; writeln('Daten der mechanischen Schwingung der Kondensatorplatten:');
writeln('Masse der Kondensatorplatten m= ',m*1000:10:5,' Gramm');
writeln('Schwingungseigenfrequenz der Kondensatorplatten: fFol= ',fFol:10:7,'
Hz. ');
writeln('Anziehung jeder Kondensatorplatte zu Beginn: Kraft F= ',F,' N');
writeln('Verformung jeder Kondensatorplatte zu Beginn: F/D= ',F/D,' m');
writeln('Plattenposition der ungeladenen Kondensatorplatten: ',CD/2);
writeln('Plattenposition, geladen, zu Beginn: x[0]: ',x[0]);
writeln('Genauigkeit der Plattenposition => Differenzkraft: ',Fc+Fd,' N');
writeln('Startposition der Platten für die Schwingg, Teil 3: ',SP3:10:7,' m');
writeln('Kapazitaet des unverformten Kondensators: C= ',epo*epr*CA/CD,'
Farad');
writeln('Kapazitaet des verformten Kondensators: C[0]= ',epo*epr*CA/(2*x[0]),'
Farad');
writeln('Dabei: Erhöhung der Kapazitaet um ',epo*epr*CA*(1/2/x[0]-1/CD),'
Farad');
writeln('Gesamtdauer der Berechnung: ',N*dt,' sec. ');

```


Raumenergie_Schwingkreis

```

Writeln;    {wait;}

{ Beginn des Rechenprogramms.}
Writeln('1.Teil -> Klassische Harmonische Schwingung, ohne Dämpfung:');
Writeln('  t/[sec.] | Uc/[V] | ');
For i:=1 to N do
begin
  UC:=Q[i-1]/C; UL:=-UC;
  Qpp[i]:=UL/L;
  Qp[i]:=Qp[i-1]+Qpp[i]*dt;
  Q[i]:=Q[i-1]+Qp[i]*dt;
  { Writeln(i*dt:11:9,' | ',Q[i]/C:7:2,' | '); }
end;
If MacheFiles then Excel_Datenausgabe('Teil_01.dat'); Writeln;

{-----}
Writeln('2.Teil -> Klassische Gedaempfte Schwingung, mit Ohm'schem
Widerstand:');
Writeln('  t/[sec.] | Uc/[V] | ');    R:=2000; {Erhöhter Widerstandswert
zum Testen}
For i:=1 to N do
begin
  Qpp[i]:=-1/L/C*Q[i-1]-R/2/L*Qp[i-1];
  { Qp[i]:=(Qp[i-1]+Qpp[i]*dt)/(1+R/L*dt); } {alternative einfachere Näherung}
  Qp[i]:=Qp[i-1]+(Qpp[i]-R/2/L*Qp[i-1])*dt; {vgl. s=1/2*a*t^2}
  Q[i]:=Q[i-1]+Qp[i]*dt;
  { Writeln(i*dt:11:9,' | ',Q[i]/C:7:2,' | '); }
end;
If MacheFiles then Excel_Datenausgabe('Teil_02.dat'); Writeln;

{-----}

Writeln('3.Teil -> Schwingung mit geladenem Kondensator noch ohne
Raumenergie-Wandlung');
{ Writeln('  t/[sec.] | x/[m] | Q[i]'); }
x[0]:=SP3;    {Startposition der Kondensatorplatten für die mechanische
Schwingung}
For i:=1 to N do
begin
  Fd:=-D*(x[i-1]-CD/2);
  Fc:=-Q[0]*Q[0]/4/pi/epo/(2*x[i-1])/(2*x[i-1]);    {Federkraft gegenüber CD}
  xpp[i]:=(Fc+Fd)/m;    {Coulombkraft}
  xp[i]:=xp[i-1]+xpp[i]*dt;    {Beschleunigung}
  x[i]:=x[i-1]+xp[i]*dt;
  If x[i]<=1e-10 then
  begin
    Writeln('Plattenberuehrung. Coulombkraft ist zu stark. Algorithmus
abgebrochen. ');
    wait; wait; Halt;
  end;
  C:=epo*epr*CA/(2*x[i]);
  Qpp[i]:=-1/L/C*Q[i-1]-R/2/L*Qp[i-1];
  Qp[i]:=Qp[i-1]+(Qpp[i]-R/2/L*Qp[i-1])*dt;
  Q[i]:=Q[i-1]+Qp[i]*dt;
  { Writeln(i*dt:11:9,' | ',x[i], ' | ',Q[i]); }
end;
If MacheFiles then Excel_andere_Ausgabe('Teil_03.dat'); Writeln;
Amplituden_anzeigen;

{-----}

wait; wait;
End.

```


$$D = 1.34 \text{ A}$$

$$Q = 2.665$$

$$\Delta E = 8.3 \cdot 10^{-9} \text{ Joule}$$

im Oszillator

$$\text{bei } P_{\text{last}} = 230 \text{ K W}$$

$$\overline{P}_{\text{last}} = 1.2 \cdot 10^{-10} \text{ Watt}$$

$$d_{\text{He}} = 2.03 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

mit $U_c = 2.00664$

$$\lambda = 1.341 \frac{\text{m}}{\text{nm}}$$

$$Q = 2.665 \cdot 10^{-10} \text{ C}$$

$$\Delta E = +1.16 \text{ E-8 Joule}$$

Gesamtenergiegewinn

$$\Delta E_{\text{med}} = +9.13 \cdot 10^{-12} \text{ Joule}$$

$$\Delta E_{\text{elektr}} = +1.16 \cdot 10^{-8} \text{ Joule}$$

$$\text{daher modifiziert: } \mu_{\text{H}} = 12539$$

"Normal.pas"

Noch im Bild zeigen.

Geräusch
Verlust Δ

μ_n	Δ_{Verlust}	$\Delta_{\text{Werkst.}}$
$125 \frac{N}{m^2}$ 12534	+ 2.44 E-12 J	+ 3.129 E-9 Joule
$1.00 \frac{N}{m^2}$ 12770	+ 2.44 E-12 J	+ 1.103 E-12 Joule
$1.00 \frac{N}{m^2}$ 12430	+ 2.44 E-12 J	- 4.23 E-10 Joule
$0.99 \frac{N}{m^2}$ 12534	- 3.24 E-12 J	- 2.84 E-11 Joule

Signallaufgeschw 55.3 $\frac{km}{sec}$
ausrechnen $\approx 1.84 \cdot 10^{-4} c$

② Signallaufgeschw.: $T = \dots$ } $\Rightarrow v = \frac{L}{\frac{1}{T}} = 55.3 \frac{km}{sec} \approx 1.84 \cdot 10^{-4} c$
 bracklänge = ...

③ Schall-Intensität: $I = \frac{2.44 \cdot 10^{-12} J}{10.59 sec \cdot 0.01 m^2} \approx 2.3 \cdot 10^{-11} \frac{W}{m^2} \Rightarrow L_I = 13.6 dB$
 Hörgrenze des Menschen $I_0 = 10^{-12} \frac{W}{m^2}$
 nein \Rightarrow das ist Luftreibung \Rightarrow elektrische Kraft in der Luft
 \Rightarrow über die Kompressibilität der Luft gehen.

Aber mit elektr. Widerstand sollte viel mehr Leistung gewinnbar sein.

9A \Rightarrow Ich muß den Algo nochmal mit einem erhöhten Ohmschen Widerstand durchlaufen lassen,
 Strom und Spannung aufzeichnen und die Leistung ausrechnen.

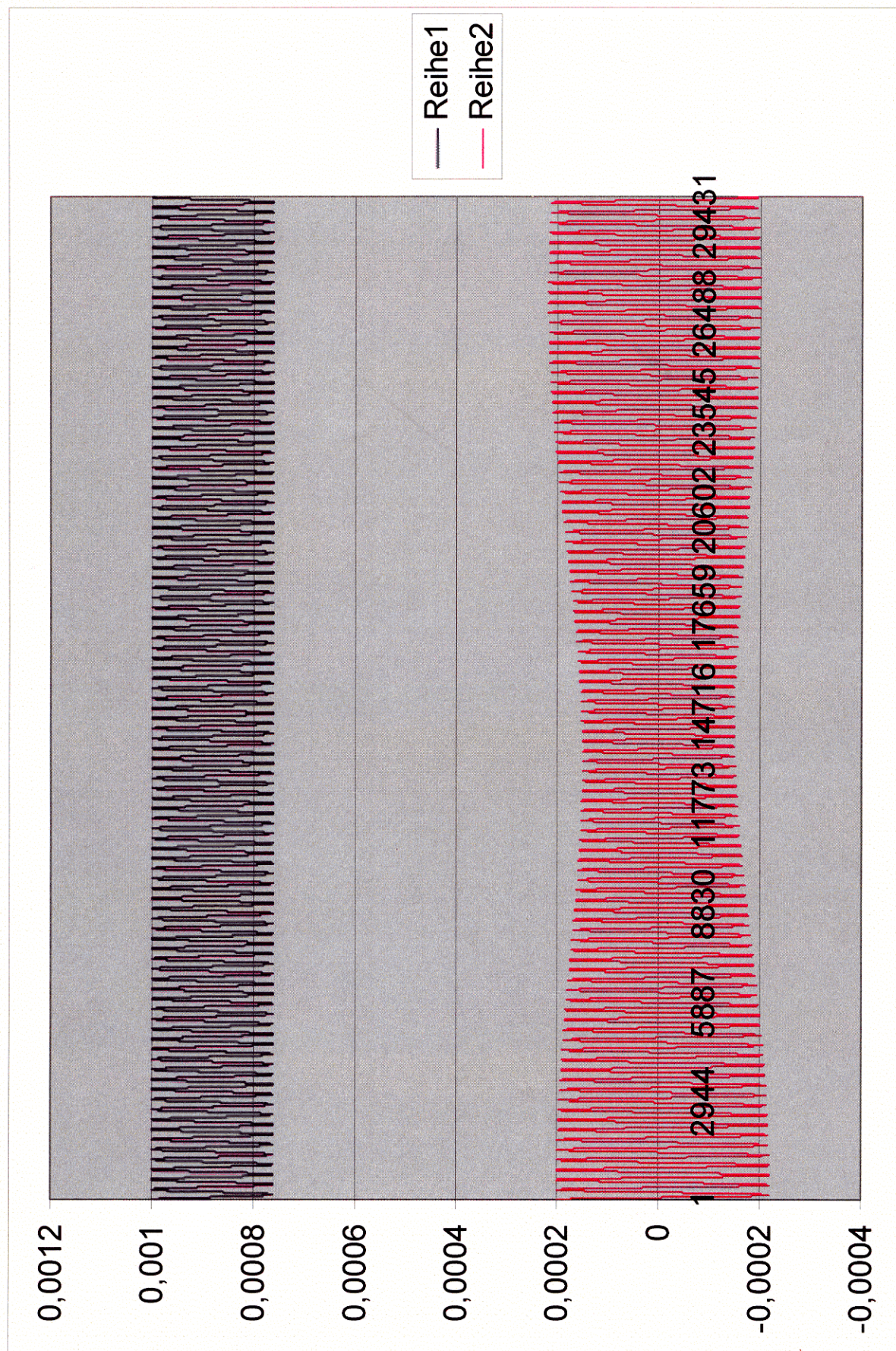
$P = U \cdot I = R \cdot I^2 = R \cdot \dot{Q}^2$
 oder $P = U \cdot \frac{U}{R} = \frac{U^2}{R} \checkmark$ \leftarrow Strom in der Klammer
 \leftarrow Kennwert Spannung, die über dem Widerstand abfällt.

Spannung über den
 Kondensatorplatten
 $U_c = 1.506 \text{ Volt}$
 (Spitzenwert)

Lastwiderstand 334 k Ω
 $\Rightarrow P = 2.3274 \cdot 10^{-11} \text{ Watt}$
 bei constant bleibender Amplitude

$$\Delta = 0.99 \frac{\mu}{m}$$

$$\mu_n = 12534$$




```

Program Harmonischer_Oszillator_im_DFEM;
{$APPTYPE CONSOLE}

```

```

uses

```

```

    Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs;

```

```

Var epo,muo      : Double; {Naturkonstanten}
    v            : Double; {Propagationsgeschwindigkeit der Ströme}
    CA,CD,C      : Double; {Platten-Kondensator: Plattenfläche, Plattenabstand, Kapazität}
    GG3          : Double; {Gleichgewichtsposition der flexiblen Platten, Teil 3, Federkraft=Coulombkraft}
    SP3          : Double; {Plattenabstand mit flexiblen Platten, Teil 3, mechanische Vorspannung}
    UC,UL{,UR}   : Double; {Spannung über Kondensator, Spule, Widerstand}
    SN,SL,SA,SR  : Double; {Luft-Spule: Windungszahl, Spulenlänge, Querschnittsfläche, Spulen-Radius}
    L            : Double; {Induktivität der Luft-Spule}
    DL           : Double; {Drahtlänge des Spulendrahtes}
    epr,mur      : Double; {Epsilon_r und M_u_r für Kondensator und Spule}
    rho,R        : Double; {spezifischer und Ohm'scher Widerstand des Spulendrahtes}
    AD           : Double; {Querschnittsfläche des Spulendrahtes}
    Q,Qp,Qpp     : Array[0..200000] of Double; {Ladung auf dem Kondensator als Fkt der Zeit}
    x,xp,xpp     : Array[0..200000] of Double; {Auslenkung jeder einzelnen Kondensatorplatte}
    dt           : Double; {Zeitschritte}
    N            : LongInt; {Anzahl der Zeitschritte insgesamt}
    i            : LongInt; {Laufvariable zum Durchzählen der Zeitschritte}
    Abstd        : Integer; {Jeder wievielte Punkte soll geplottet werden}
    rhoAL,rhoFol : Double; {Dichte von Aluminium und Folie}
    dAL,dFol     : Double; {Dicke der Aluminium-Kondensatorplatten und der Folie}
    D            : Double; {Federsteifigkeit der Federn zwischen den Kondensatorplatten}
    m            : Double; {(mechanische) Masse der Aluminium-Kondensatorplatten}
    omfol,fFol   : Double; {Eigenkreisfrequenz und Eigenfrequenz der Kondensatorplatten-Schwingung}
    F            : Double; {Anziehungskraft zwischen den Kondensatorplatten}
    Sternl       : Double; {Hilfsvariable}
    Fc,Fd        : Double; {Kräfte: Coulombkraft und Federkraft}
    MacheFiles   : Boolean; {Sollen die Ergebnisse auf die Magnetplatte geschrieben werden ?}
    om           : Double; {Kreisfrequenz Omega}

```

```

Procedure Wait;

```

```

Var Ki : Char;

```

```

begin

```

```

    Write('<W>'); Read(Ki); Write(Ki);

```

```

    If Ki='e' then Halt;

```

```

end;

```

```

Procedure Excel_Datenausgabe(Name:String);

```

```

Var fout : Text; {Daten-File zum Aufschreiben der Ergebnisse}

```

```

    Zahl : String;

```

```

    lv,j : Integer; {Laufvariable}

```

```

    A0 : Double; {abklingende Amplitude der gedämpften Schwingung}

```

```

begin {Daten für Excel aufbereiten und ausgeben;}

```

```

    Assign(fout,Name); Rewrite(fout); {File öffnen}

```

```

    For lv:=0 to N do {von "plotanf" bis "plotend"}

```

```

    begin

```

```

        If (lv mod Abstd)=0 then

```

```

        begin

```

```

            {Zuerst die Zeit als Argument;}

```

```

            Str(lv*dt*1e6{nano_sec.}:14:10,Zahl);

```

```

            For j:=1 to Length(Zahl) do

```

```

            begin {Keine Dezimalpunkte verwenden, sondern Kommata}

```

```

                If Zahl[j]<>'.' then write(fout,Zahl[j]);

```

```

                If Zahl[j]='.' then write(fout,',');

```

```

            end;

```

```

            Write(fout,chr(9)); {Daten-Trennung}

```

```

            {Dann als (erste) Funktion die Spannung über dem Kondensator;}

```

```

            Str(Q[lv]/C{Volt}:14:7,Zahl);

```

```

            For j:=1 to Length(Zahl) do

```

```

            begin {Keine Dezimalpunkte verwenden, sondern Kommata}

```

```

                If Zahl[j]<>'.' then write(fout,Zahl[j]);

```

```

                If Zahl[j]='.' then write(fout,',');

```

```

            end;

```

```

            Write(fout,chr(9)); {Daten-Trennung}

```

```

            {Dann als (zweite) Funktion die Einhüllende der abklingenden Schwingung;}

```

```

            A0:=Q[0]/C/sin(arctan(sqrt(1/L/C-R*R/4/L/L)/(R/2/L))); {klassische}

```

```

            Str(A0*exp(-R/2/L*lv*dt){Volt}:20:10,Zahl); {Formeln}

```

```

            For j:=1 to Length(Zahl) do

```

```

            begin {Keine Dezimalpunkte verwenden, sondern Kommata}

```

```

                If Zahl[j]<>'.' then write(fout,Zahl[j]);

```

```

                If Zahl[j]='.' then write(fout,',');

```

```

            end;

```

```

            Writeln(fout,''); {Zeilen-Trennung}

```

```

        end;

```

```

    end;

```

```

    Close(fout);

```

```

end;

```

```

Procedure Excel_andere_Ausgabe(Name:String);

```

```

Var fout : Text; {Daten-File zum Aufschreiben der Ergebnisse}

```

```

    Zahl : String;

```

```

    lv,j : Integer; {Laufvariable}

```

```

begin {Daten für Excel aufbereiten und ausgeben;}

```

```

    Assign(fout,Name); Rewrite(fout); {File öffnen}

```

```

    For lv:=0 to N do {von "plotanf" bis "plotend"}

```

```

    begin

```



```

    If (lv mod Abstd)=0 then
    begin
    {
    Zuerst die Zeit als Argument:}
    Str(lv*dt*1e6{nano_sec.}:14:10,Zahl);
    For j:=1 to Length(Zahl) do
    begin {Keine Dezimalpunkte verwenden, sondern Kommata}
    If Zahl[j]<>'.' then write(fout,Zahl[j]);
    If Zahl[j]='.' then write(fout,',');
    end;
    Write(fout,chr(9)); {Daten-Trennung}
    Erste Funktion: }
    Str(x[lv]{Volt}:20:14,Zahl);
    For j:=1 to Length(Zahl) do
    begin {Keine Dezimalpunkte verwenden, sondern Kommata}
    If Zahl[j]<>'.' then write(fout,Zahl[j]);
    If Zahl[j]='.' then write(fout,',');
    end;
    Write(fout,chr(9)); {Daten-Trennung}
    Zweite Funktion: }
    Str(Q[lv]*1E6{Volt}:20:14,Zahl);
    For j:=1 to Length(Zahl) do
    begin {Keine Dezimalpunkte verwenden, sondern Kommata}
    If Zahl[j]<>'.' then write(fout,Zahl[j]);
    If Zahl[j]='.' then write(fout,',');
    end;
    Writeln(fout,''); {Zeilen-Trennung}
    end;
    end;
    Close(fout);
end;

Procedure Excel_Raumenergieausgabe(Name:String);
Var fout : Text; {Daten-File zum Aufschreiben der Ergebnisse}
    Zahl : String;
    lv,j : Integer; {Laufvariable}
begin {Daten für Excel aufbereiten und ausgeben:}
    Assign(fout,Name); Rewrite(fout); {File öffnen}
    For lv:=0 to N do {von "plotanf" bis "plotend"}
    begin
    If (lv mod Abstd)=0 then
    begin
    {
    Zuerst die Zeit als Argument:}
    Str(lv*dt*1e6{nano_sec.}:14:10,Zahl);
    For j:=1 to Length(Zahl) do
    begin {Keine Dezimalpunkte verwenden, sondern Kommata}
    If Zahl[j]<>'.' then write(fout,Zahl[j]);
    If Zahl[j]='.' then write(fout,',');
    end;
    Write(fout,chr(9)); {Daten-Trennung}
    Dann als (erste) Funktion die Spannung über dem Kondensator:}
    Str(x[lv]{Volt}:14:7,Zahl);
    For j:=1 to Length(Zahl) do
    begin {Keine Dezimalpunkte verwenden, sondern Kommata}
    If Zahl[j]<>'.' then write(fout,Zahl[j]);
    If Zahl[j]='.' then write(fout,',');
    end;
    Writeln(fout,''); {Zeilen-Trennung}
    end;
    end;
    Close(fout);
end;

Procedure Excel_eine_Kolumne(Name:String);
Var fout : Text; {Daten-File zum Aufschreiben der Ergebnisse}
    Zahl : String;
    lv,j : Integer; {Laufvariable}
begin {Daten für Excel aufbereiten und ausgeben:}
    Assign(fout,Name); Rewrite(fout); {File öffnen}
    For lv:=0 to N do {von "plotanf" bis "plotend"}
    begin
    If (lv mod Abstd)=0 then
    begin
    Str(x[lv]{Volt}:20:14,Zahl); {Hier trage ich das zu plottende Feld ein.}
    For j:=1 to Length(Zahl) do
    begin {Keine Dezimalpunkte verwenden, sondern Kommata}
    If Zahl[j]<>'.' then write(fout,Zahl[j]);
    If Zahl[j]='.' then write(fout,',');
    end;
    Writeln(fout,''); {Zeilen-Trennung}
    end;
    end;
    Close(fout);
end;

Function Plapos(z:LongInt):Double; {Iterative Ermittlung der Position der Kondensatorplatten.}
Var xs : Double; {Startwert}
    sw : Double; {Schrittweite}
    an,ab : Boolean;
begin
    xs:=0;

```



```

If z=0 then xs:=CD/2; {Die Position der beiden Platten liegt bei +/-xs.}
If z>0 then xs:=x[z-1]; {Dies kann ggf. vom vorigen Arbeitsschritt übernommen werden.}
sw:=xs/20;
Repeat
  sw:=sw/10;
  an:=false; ab:=false;
  Repeat
    Fc:=1/4/pi/epo*q[z]*q[z]/(2*xs)/(2*xs);
    Fd:=D*(xs-CD/2); {Die Feder wird gegenüber CD ausgelenkt.}
    If Fc+Fd>0 then begin xs:=xs-sw; an:=true; end;
    If Fc+Fd<0 then begin xs:=xs+sw; ab:=true; end;
    If xs<=1e-10 then
      begin
        Writeln ('Plattenberuehrung. Coulombkraft ist zu stark. Algorithmus abgebrochen. ');
        Wait; Wait; Halt;
      end;
  Until (an and ab);
Until (sw<xs/1e14);
Plapos:=xs;
end;

Procedure Amplituden anzeigen;
Var i : Integer;
schreibe : Boolean;
SteigX,SteigQ : Boolean;
BildX,BildQ : Array[0..200] of Double;
zvx,zvQ : Integer;
eq,lq,ex,lx : Double;
Wmech1,Wmech2,Well,Well2:Double;
begin
{ Zuerst die x-Amplituden:}
SteigX:=false; If x[1]>x[0] then SteigX:=true;
schreibe:=false; zvx:=0;
Writeln(' I: t/[sec.] | x/[m] | Q[i]');
For i:=1 to N do
begin
  If SteigX then
  begin
    If x[i]<x[i-1] then begin schreibe:=true; SteigX:=Not(SteigX); Write('X-Max:'); end;
  end;
  If Not(SteigX) then
  begin
    If x[i]>x[i-1] then begin schreibe:=true; SteigX:=Not(SteigX); Write('X-Min:'); end;
  end;
  If schreibe then
  begin
    Writeln(i:6,' ',i*dt:7:5,' | ',x[i],' | ',Q[i]); {Wait;}
    BildX[zvx]:=x[i]; zvx:=zvx+1;
  end;
  schreibe:=false;
end;
zvx:=zvx-1;
{ Danach die Q-Amplituden:}
SteigQ:=false; If Q[1]>Q[0] then SteigQ:=true;
schreibe:=false; zvQ:=0;
Writeln(' I: t/[sec.] | x/[m] | Q[i]');
For i:=1 to N do
begin
  If SteigQ then
  begin
    If Q[i]<Q[i-1] then begin schreibe:=true; SteigQ:=Not(SteigQ); Write('Q-Max:'); end;
  end;
  If Not(SteigQ) then
  begin
    If Q[i]>Q[i-1] then begin schreibe:=true; SteigQ:=Not(SteigQ); Write('Q-Min:'); end;
  end;
  If schreibe then
  begin
    Writeln(i:6,' ',i*dt:7:5,' | ',x[i],' | ',Q[i]); {Wait;}
    BildQ[zvQ]:=Q[i]; zvQ:=zvQ+1;
  end;
  schreibe:=false;
end;
zvQ:=zvQ-1;
{ Jetzt der Überblick über "Spitze-Spitze":}
Writeln('Orte, Spitze-Spitze:');
i:=2; ex:=BildX[i]-BildX[i-1];
Repeat
  Writeln(i,' ',BildX[i]-BildX[i-1]);
  lx:=BildX[i]-BildX[i-1];
  i:=i+2;
Until (i>=zvx);
Writeln('Ladungen, Spitze-Spitze:');
i:=2; eq:=BildQ[i]-BildQ[i-1];
Repeat
  Writeln(i,' ',BildQ[i]-BildQ[i-1]);
  lq:=BildQ[i]-BildQ[i-1];
  i:=i+2;
Until (i>=zvQ);
Write('Gesamtaenderung, Orts-Amplitude: ');

```



```

If Abs(lx)>Abs(ex) then Write('+');
If Abs(lx)<Abs(ex) then Write('-');
om:=pi*zvz/N/dt; Writeln('Kreisfrequenz omega= ',om);
Writeln(Abs(lx-ex));
Wmech1:=m/2*(ex*ex)*om*om; Wmech2:=m/2*(lx*lx)*om*om;
Writeln('Mechanische Energie zu Beginn: ',Wmech1,' Joule');
Writeln('Mechanische Energie am Ende: ',Wmech2,' Joule');
Writeln('Mechan. Energie-Veränderung: ',Wmech2-Wmech1,' Joule');
Write('Gesamtaenderung, Ladg-Amplitude: ');
If Abs(lq)>Abs(eq) then Write('+');
If Abs(lq)<Abs(eq) then Write('-');
Writeln(Abs(lq-eq));
Well:=L/2*(eq*eq)*om*om; Wel2:=L/2*(lq*lq)*om*om;
Writeln('Elektrische Energie zu Beginn: ',Well,' Joule');
Writeln('Elektrische Energie am Ende: ',Wel2,' Joule');
Writeln('Elektr. Energie-Veränderung: ',Wel2-Well,' Joule'); Writeln;
Writeln('Summe: Gesamt-Energiegewinn: ',Wmech2-Wmech1+Wel2-Well,' Joule'); Writeln;
end;

Begin {Hauptprogramm}
{ Initialisierung - Vorgabe der Werte: }
{ Allgemeine Werte: }
epo:=8.854187817E-12{As/Vm}; {Magnetische Feldkonstante}
muo:=4*pi*1E-7{Vs/Am}; {Elektrische Feldkonstante}
v:=Sqrt(1/muo/epo){m/s}; {Zunächst Lichtgeschw. als Bewegungsgeschw. der Ladungen}
Abstd:=1; {Jeder wievielte Punkte soll geplottet werden}
{ Kondensator: }
CA:=0.1*0.1{m^2}; CD:=0.002{m}; {Kondensator-Geometrie, Plattenfläche, Plattenabstand}
epr:=3; {Dielektrikum im Kondensator}
C:=epo*epr*CA/CD; {Kapazität des unverformten Platten-Kondensators}
{ Spule: }
SN:=34600; SL:=0.08{m}; SR:=0.05{m}; SA:=pi*SR*SR{m^2}; {Spulen-Geometrie}
mur:=12534; {12264}; {Spulenkern ist nötig, zur Abstimmung der Frequenz}
L:=muo*mur*SN*SN*SA/SL; {Induktivität}
rho:=1.7E-8{Ohm*m}; {Spez. Widerstand von Kupfer, je nach Temperatur, Kohlrausch,T193}
AD:=pi*0.0002*0.0002{m^2}; {Querschnittsfläche des Spulendrahtes}
R:=rho*2*pi*SR*SR/AD{Ohm}; {Ohm'scher Widerstand des Spulendrahtes}
DL:=SN*2*pi*SR; {Drahtlänge des Spulendrahtes}
{ Mechanische Schwingung der Kondensatorplatten: }
rhoAL:=2700{kg/m^3}; {Dichte von Aluminium}
rhoFol:=1500{kg/m^3}; {Dichte der Kunststoff-Folie}
dAL:=2e-6{m}; {Dicke der Aluminium-Kondensatorplatten: 10_Mü}
dFol:=10e-6{m}; {Dicke der Kunststoff-Folie: 10_Mü}
D:=1.0{N/m}; {Federsteifigkeit der Federn zwischen den Kondensatorplatten}
m:=CA*dAL*rhoAL+CA*dFol*rhoFol; {(mechanische) Masse der Aluminium-Kondensatorplatten}
omFol:=Sqrt(D/m); {Schwingungs-Eigenkreisfrequenz der Kondensatorplatten_Folie}
fFol:=omFol/2/pi; {Schwingungseigenfrequenz der Kondensatorplatten_Folie}
{ Start der elektrischen Schwingung: }
Q[0]:=2E-10{C}; Qp[0]:=0; Qpp[0]:=0; {Ladung auf dem Kondensator zu Beginn}
UC:=Q[0]/C{V}; {Spannung über dem Kondensator zu Beginn, das Dielektrikum isoliert}
dt:=3.53E-4{sec.}; {Zeitschritte}
N:=30000; {Anzahl der Zeitschritte insgesamt}
{ Start der mechanischen Schwingung: }
x[0]:=Plapos(0); {Iterative Ermittlung der Position der Kondensatorplatten.}
GG3:=x[0];{Gleichgewichtsposition der flexiblen Platten, Teil 3, Federkraft=Coulombkraft}
SP3:=CD/2;{Vorgabe:Plattenabstand mit flexiblen Platten, Teil 3, mechanische Vorspannung}
F:=1/4/pi/epo*Q[0]*Q[0]/(2*x[0])/(2*x[0]); {Anziehung nach dem Coulomb-Gesetz}
{Der Ort jeder Platte liegt bei CD/2+x[i]}
xp[0]:=0; xpp[0]:=0; {Festhalten der Platten bis zum Zeitpunkt t=0}
MacheFiles:=true; {Sollen die Ergebnisse auf die Magnetplatte geschrieben werden ?}
{ Anzeigen der Startwerte: }
Writeln('DFEM-Berechnung des LC - Schwingkreises:'); Writeln;
Writeln('epo=',epo:20,'; muo=',muo:20,'; v=',v:20);
Writeln('C=',C:20,' Farad; L=',L:20,' Henry');
Writeln('Klass. Schwingkreis, Eigenfrequ. fo=2*pi/Sqrt(L*C)=' ,2*pi/Sqrt(L*C),' Hz');
Writeln('=> Schwingungsdauer T=1/fo=' ,2*pi/Sqrt(L*C),' sec. ');
Writeln('Ohm'scher Widerstand des Spulendrahtes: ',R,' Ohm');
Writeln('Drahtlaenge des Spulendrahtes: ',DL,' Meter');
Writeln('Querschnittsfläche des Spulendrahtes: ',AD*1e6:10:5,' mm^2');
Writeln('Volumen der Spule: ',DL*AD*1e6:10:5,' cm^3');
Writeln('Gewicht der Spule: ',DL*AD*1e6*8.92:10:5,' Gramm'); {Dichte Cu: 8.92 g/cm^3}
Writeln('Spannung ueber dem Kondensator zu Beginn: ',UC:12:5,' Volt');
Writeln('Ges. Zeitspanne der Berechnung: ',N*dt,' sec. in ',N,' Schritten');
Writeln; Writeln('Daten der mechanischen Schwingung der Kondensatorplatten:');
Writeln('Masse der Kondensatorplatten m= ',m*1000:10:5,' Gramm');
Writeln('Schwingungseigenfrequenz der Kondensatorplatten: fFol= ',fFol:10:7,' Hz. ');
Writeln('Anziehung jeder Kondensatorplatte zu Beginn: Kraft F= ',F,' N');
Writeln('Verformung jeder Kondensatorplatte zu Beginn: F/D= ',F/D,' m');
Writeln('Plattenposition der ungeladenen Kondensatorplatten: ',CD/2);
Writeln('Plattenposition, geladen, zu Beginn: X[0]= ',X[0]);
Writeln('Genauigkeit der Plattenposition => Differenzkraft: ',Fc+Fd,' N');
Writeln('Startposition der Platten für die Schwingg, Teil 3: ',SP3:10:7,' m');
Writeln('Kapazitaet des unverformten Kondensators: C= ',epo*epr*CA/CD,' Farad');
Writeln('Kapazitaet des verformten Kondensators: C[0]= ',epo*epr*CA/(2*x[0]),' Farad');
Writeln('Dabei: Erhöhung der Kapazitaet um ',epo*epr*CA*(1/2/x[0]-1/CD),' Farad');
Writeln('Gesamtdauer der Berechnung: ',N*dt,' sec. ');
Writeln; {Wait;}

{ Beginn des Rechenprogramms. }
Writeln('1.Teil -> Klassische Harmonische Schwingung, ohne Dämpfung:');

```



```

Writeln(' t/[sec.] | Uc/[V] | ');
For i:=1 to N do
begin
    UC:=Q[i-1]/C; UL:=-UC;
    Qpp[i]:=UL/L;
    Qp[i]:=Qp[i-1]+Qpp[i]*dt;
    Q[i]:=Q[i-1]+Qp[i]*dt;
{ Writeln(i*dt:11:9, ' | ', Q[i]/C:7:2, ' | '); }
end;
If MacheFiles then Excel_Datenausgabe('Teil_01.dat'); Writeln;

{-----}
Writeln('2.Teil -> Klassische Gedaempfte Schwingung, mit Ohm'schem Widerstand:');
Writeln(' t/[sec.] | Uc/[V] | '); R:=2000; {Erhöhter Widerstandswert zum Testen}
For i:=1 to N do
begin
    Qpp[i]:=-1/L/C*Q[i-1]-R/2/L*Qp[i-1];
{ Qp[i]:=(Qp[i-1]+Qpp[i]*dt)/(1+R/L*dt); } {alternative einfachere Näherung}
Qp[i]:=Qp[i-1]+(Qpp[i]-R/2/L*Qp[i-1])*dt; {vgl. s=1/2*a*t^2}
Q[i]:=Q[i-1]+Qp[i]*dt;
{ Writeln(i*dt:11:9, ' | ', Q[i]/C:7:2, ' | '); }
end;
If MacheFiles then Excel_Datenausgabe('Teil_02.dat'); Writeln;

{-----}

Writeln('3.Teil -> Schwingung mit geladenem Kondensator noch ohne Raumenergie-Wandlung');
{ Writeln(' t/[sec.] | x/[m] | Q[i]'); }
x[0]:=SP3; {Startposition der Kondensatorplatten für die mechanische Schwingung}
For i:=1 to N do
begin
    Fd:=-D*(x[i-1]-CD/2); {Federkraft gegenüber CD}
    Fc:=-Q[0]*Q[0]/4/pi/epo/(2*x[i-1])/(2*x[i-1]); {Coulombkraft}
    xpp[i]:=(Fc+Fd)/m; {Beschleunigung}
    xp[i]:=xp[i-1]+xpp[i]*dt;
    x[i]:=x[i-1]+xp[i]*dt;
    If x[i]<=1e-10 then
    begin
        Writeln ('Plattenberuehrung. Coulombkraft ist zu stark. Algorithmus abgebrochen.');
        Wait; Wait; Halt;
    end;
    C:=epo*epr*CA/(2*x[i]);
    Qpp[i]:=-1/L/C*Q[i-1]-R/2/L*Qp[i-1];
    Qp[i]:=Qp[i-1]+(Qpp[i]-R/2/L*Qp[i-1])*dt;
    Q[i]:=Q[i-1]+Qp[i]*dt;
{ Writeln(i*dt:11:9, ' | ', x[i], ' | ', Q[i]); }
end;
If MacheFiles then Excel_andere_Ausgabe('Teil_03.dat'); Writeln;
Amplituden_anzeigen;

{-----}

Wait; Wait;
End.

```

→ auf (3 von 5.6) hinweisen.

$$R := 70 \quad U_0 := 12 \quad \text{OmE} := 8680 \text{ (nahe Resonanz)} \quad L := 10 \cdot 10^{-3} \quad C := 10^{-6} \quad \text{(Klausurtrainer S.209 ff)}$$

$$\text{Om0} := \sqrt{\frac{1}{L \cdot C}} \rightarrow 10000$$

(Kreis-Eigenfrequenz der harmonischen Schwingung)

$$\text{delta} := \frac{R}{2 \cdot L} \rightarrow 3500 \quad \text{OmD} := \sqrt{\frac{1}{L \cdot C} - 1 \cdot \text{delta}^2} \rightarrow 1500 \cdot \sqrt{39} \quad \text{(für den gedämpften Einschwingvorgang)} \quad 9367.4969975975973087$$

$$\text{OmR} := \sqrt{\frac{1}{L \cdot C} - 2 \cdot \text{delta}^2} \rightarrow 500 \cdot \sqrt{302} \quad \text{(Resonanzfrequenz)} \quad 8689.0735984913834770$$

$$A := \frac{U_0}{L} \rightarrow \frac{3}{6718398184} \cdot \sqrt{1679599544 (\text{Ladungs-Amplitude})} \quad 1.8300307578539274178 \cdot 10^{-5}$$

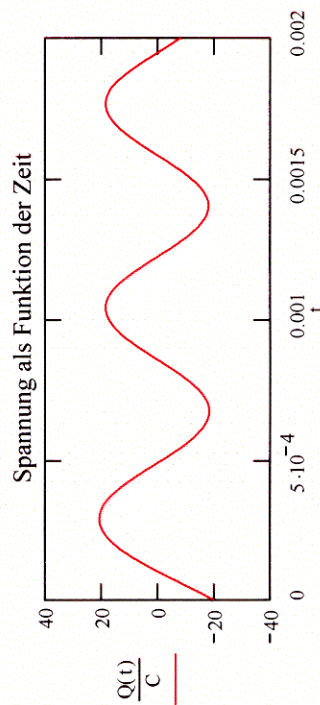
$$\text{Spannung: } U := \frac{A}{C} \rightarrow \frac{375000}{839799773} \cdot \sqrt{1679599546} \quad 18.30030757854 \quad \text{bei Frequenz } \omega E$$

$$\text{alpha} := \text{atan} \left(\frac{2 \cdot \text{delta} \cdot \text{OmE}}{\text{Om0}^2 - \text{OmE}^2} \right) \rightarrow \text{atan} \left(\frac{37975}{15411} \right) \quad \text{(Phasenverschiebung)} \quad 1.1852831269051331909$$

phi := 50 (Anfangsbedingungen => Phase, hier willkürlich, es ist nur der Einschwingvorgang)

$$Q(t) := U_0 \cdot C \cdot \exp(-\text{delta} \cdot t) \cdot \sin(\text{OmD} \cdot t + \text{phi}) + A \cdot \sin(\text{OmE} \cdot t - \text{alpha}) \quad \text{Lösung der Schwingungsdgl. in Ladung}$$

$$t := 0, 0.00001 \dots 0.002$$

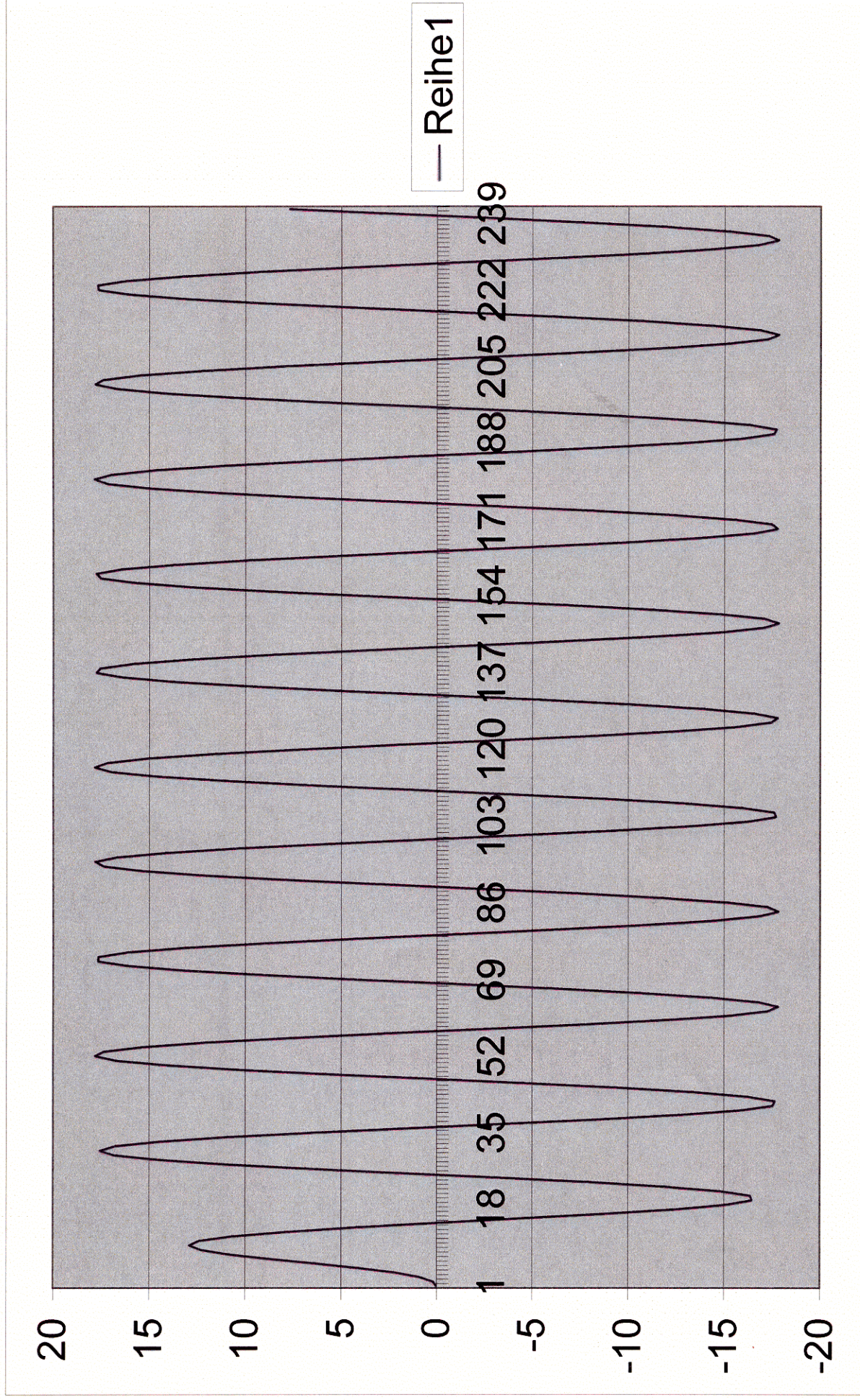


Schwingungsdauer in Sekunden:

$$T := \frac{2 \cdot 3.14159}{\text{OmE}} \rightarrow 7.2386866359447004607 \cdot 10^{-4}$$

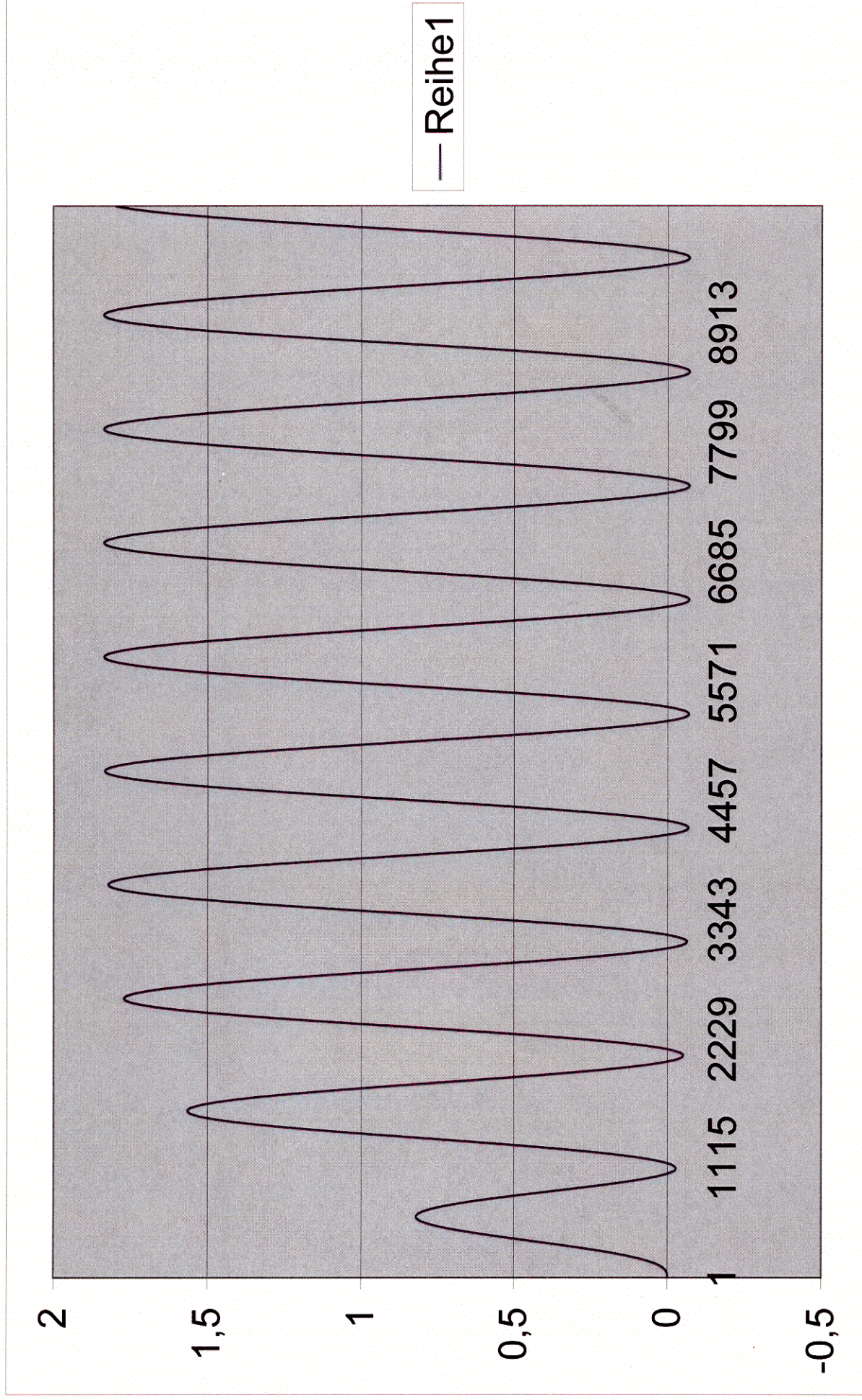
Spannung über dem Kondensator in Volt

zu S. 10,
Teil 4
mein Algo

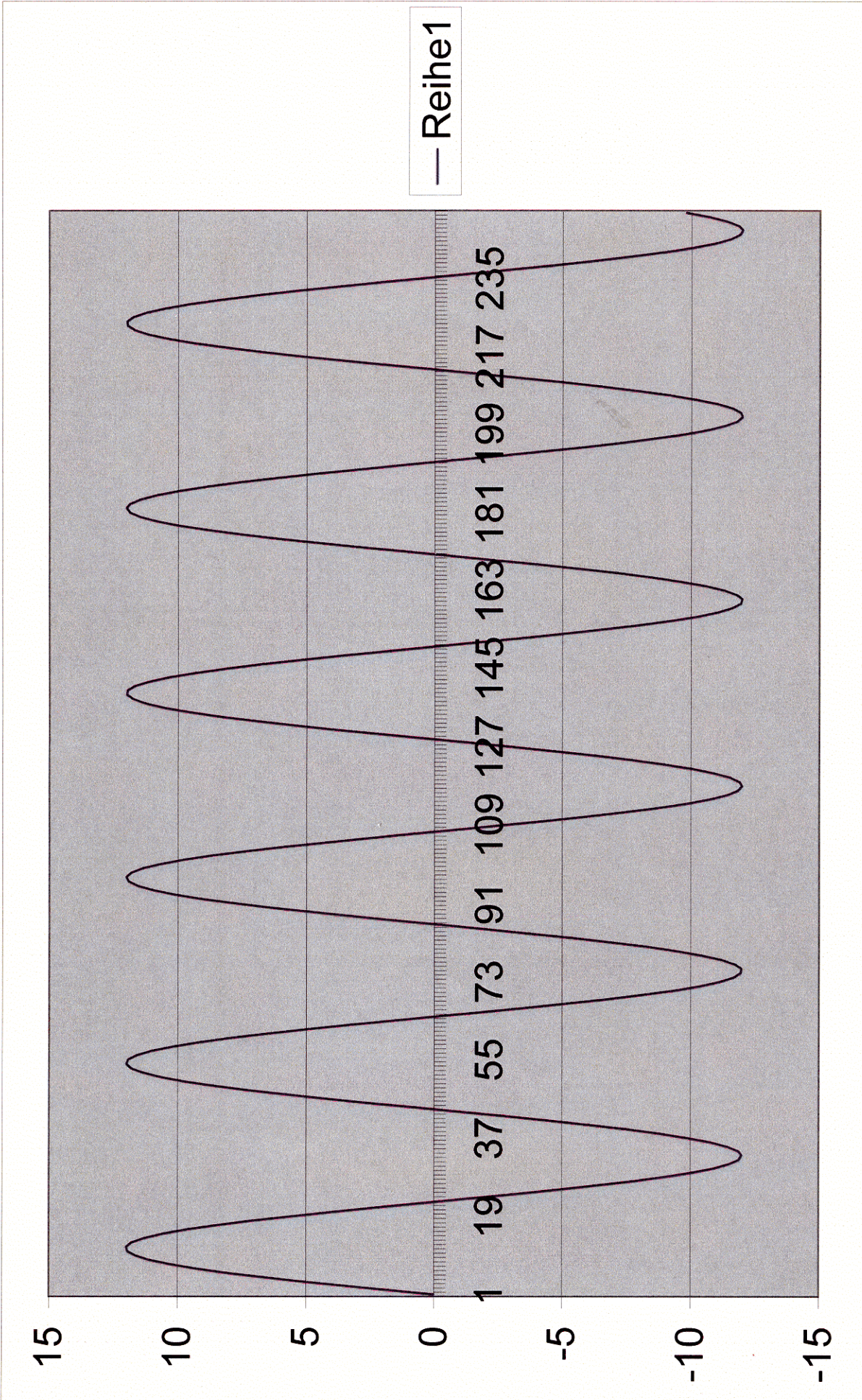


Leistungszufuhr in Watt

Zu S. 10
Teil 4
Leistungsprofil



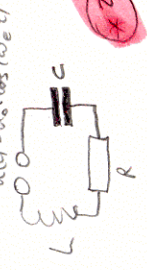
Leistungswert 0,8037 Watt



Teil 4: Erzwungene (klassische) Schwingung

Wir setzen auf, auf Glg (*5 von S.5) bzw (*6 von S.5) und wir ergänzen die Anregung \rightarrow

Die Kirchhoff'sche Masche sieht jetzt so aus:



(in Erweiterung von Teil 2, Seite 5)

(*)2

$$U_L + U_R + U_C = U_0 \cdot \cos(w_e t) \quad (*)$$

$$-L \ddot{Q} + R \dot{Q} + \frac{1}{C} Q = U_0 \cdot \cos(w_e t)$$

Das muß man in die Dgl in unseren Algorithmus

$$\Rightarrow -L \ddot{Q} = -R \dot{Q} - \frac{1}{C} Q + U_0 \cdot \cos(w_e t)$$

$$\Rightarrow \ddot{Q} = \frac{R}{L} \dot{Q} + \frac{1}{LC} Q - \frac{U_0}{L} \cdot \cos(w_e t)$$

\rightarrow "Param - optimieren - 03. pas"
Klassische Kontrolle mit "Erzw. Schwing. m.c.d."

Verleitet, vergleichen, Phasen

Teil 5: Jetzt made it das selbe, nur mit ~~Spannung~~ "Erste Energie- und Leistungskontrolle"

Zuerst bestimme ich den Leistungs-Input: $P = U \cdot I = U(t) \cdot Q(t)$ über jedem Zeitintervall dt

Wir betrachten dabei U und \dot{Q} über jedem einzelnen Zeitintervall als zeitlich konstant

"Param - optimieren - 04. pas"

- Mit der Anregung durch eine Sinusspannung ergibt sich eine Leistungsprüfung nach dem beiliegenden Diagramm "zu S.10, Teil 4, Leistungsprüfung"
- Das zeitliche Leistungsmittel bei der in Teil 4 zugeführten Sinus-Spannung ist $\bar{P}_{in} = 8.03683817549507 \cdot 10^{-1} \text{ W} \approx 0.8 \text{ W}$
- Das File "U_von_t.dat" stellt die Input-Spannungspulse für den Osz dar.

- Zur Kontrolle in Excel \rightarrow
 - Kolumne B: Spannung über dem Kondensator
 - Kolumne C: Input-Leistung
 - Kolumne E: Elektrische Energie im Schwingkreis
 - Kolumne F: Insgesamt zugeführte Energie

(Die Kolumnen A & D werden nicht gebraucht)

File "Erzw. Schwing - 4 - Energie- und - Leistung.xls"
zum Öffnen "Param - optimieren - 04. pas"
Das sind 4 Diagramme: 1.B, 2.C, 3.E und 4.E & F

\rightarrow Ohne "over unity" muß immer mehr Energie zugeführt sein, als im Schwingkreis hin- und hergeht.

Das klärt bei Anregung mit dem klassischen Sinus absolut prima.

- Bild 1: Kolumne B \rightarrow Einordnungsvorgang; die Spannung schwankt sich auf bis sie 18V (Resonanz) erreicht
- Bild 2: Kolumne C \rightarrow Die zugeführte Energie ist beim Eindringen weniger als während der Resonanz
- Bild 3: Kolumme E \rightarrow Die Energie im Schwingkreis schwankt sich auf. Während der Resonanz-Schwingung oszilliert sie mit einem Sinus, weil der Widerstand, weil der Widerstand ständig Energie herauszieht, aber die Versorgung sinusförmig oszillierend nachliefert.

Bild 4: Kolumnen E & F \rightarrow Die in den Schwingkreis hineingepumpte Energie (rosa) steigt natürlich ständig an, weil immer das nachgepusht werden muß, was der Widerstand herauszieht.

Bild 5: Hodenlösung \rightarrow Ganz am Anfang der Kurve sieht man, daß die allererste Leistung im Schwingkreis verbleibt, bevor genug Schwingung da ist, daß der Widerstand mehr als Leistung zieht.

Teil 6:

Jetzt will ich ausprobieren, ob man mit Impulsbetrieb - Anregung den Wirkungsgrad des klassischen Schwingung verbessern kann.

Es geht um die Frage, ob man auch mit weniger zugeführter Energie (bei halbetrieb) eine hohe Energie im Schwingkreis bekommen kann.

Das rege ich jetzt im File "Param - optimieren - 05.pas" im Teil 06 mit Pulsbetrieb verschiedener (variabler) Pulslängen an.

Excel-File "Graw-Schwing-6-halbetrieb.xls" →

Auch hier findet man die Energieerhaltung des klassischen LC-Kreises prima bestätigt: Zuerst wird Leistung zugeführt, die den Kondensator auflädt; danach sieht man die Entladekurve des Kondensators über den Widerstand.

Teil 7:

File "Param - optimieren - 06.7 Energievergleich.pas"

Jetzt kommt der entscheidende Moment → jetzt muß ich mit dem Impulsbetrieb meinen Raumenergie-Konverter - Schwingkreis mit dem variablen Kondensator (mit Federplatten) im LC-Kreis auf langzeitstabilen Verhalten stabilisieren.

Dafür schreibe ich den Algorithmus "Param - optimieren - 06.pas".

Auf der beiliegenden Seite 11B sieht man, wie ich mit schwacher elektr. Anregung plötzlich eine starke mechan. Schwingung erzeugen kann.

Normals, neue Teil 7:

File "Param - optimieren - 07.pas"

Jetzt will ich den Betrieb über den Lastwiderstand dämpfen, damit der Konverter nicht mehr auseinanderfliegt

Den Betrieb will ich dann mit zugeführten Impulsen langzeitstabil machen.

Ein Bsp für das Aufschaukeln bei Pulsbetrieb ist dokumentiert unter "Graw-Schwing-7-Aufschaukeln-bi-halbetrieb.xls"

im Bsp "Graw-Schwing-7-Aufschaukeln-bi-halbetrieb.pas"

→ Beobachtungsdauer 50 sec! → langzeitstabil

So, und dazu muß ich jetzt noch die Leistungstrahne (mechan & elektr. optimieren)

Das kann ich vielleicht hinhaken, wenn ich den Ohm'schen Widerstand vom durchfließenden Strom oder

von der Spannung abhängig mache.

bleibend ist wenig Leistung drin, also bekomme ich die schlecht raus.

Mechanisch ist mehr Energie drin. Mechanisches Aufschaukeln → Tiles

"Graw-Schwing-7-045000.pas"

bei Anregung mit 56000% und mod mit 70500!

02b } sind auf schnelles Aufbauen nach dem Start optimiert. } Das geht nur kurzfristig beim Start des Systems!
 02c } Also 40mW bzw 310mW, die im System verbleiben.
 Wenig Leistungsentnahme am Lastwiderstand.

zu Teil 7

Zurückfinden zum Pulsbetrieb: Uppm "Energieklima" \rightarrow "Gewonnene Schwingungsenergie" (als Summe mechanisch + elektrisch) \rightarrow nur Anzeige, kein Array
 Uppm "Leistung-Berechnung" \rightarrow "Leistung, die der Lastwiderstand zieht." \rightarrow nur Anzeige, kein Array
 Uppm "Zugeführte Leistungsmittel" \rightarrow "Watt Input aus der Spannungsquelle" \rightarrow nur Anzeige, kein Array
 Uppm "Prozentant zugeführte Energie berechnen" : Das erzeugt ein Array $E_{sum}[i]$, das bei der Excel-Ausgabe in Kolonne "F" geschrieben wird.

Was die Excel-Ausgabe-Teil 3 bei Teil 7 anzeigt: Kolonne A \rightarrow Zeit als Argument / bei Teil 8: Port bzw Event (Leistungs- bzw Energie-Entnahme)

B \rightarrow Kondensatorspannung $U = \frac{Q}{C}$

C \rightarrow $P_{in} =$ Zugeführte Leistung (elektrisch in Zugeführt)

D \rightarrow $E_{mech} =$ mechan. Energie im Schwinger } Die Energie ist im Schwinger
 E \rightarrow Elektr. Energie im Schwinger }
 F \rightarrow Zugeführte Energie (als $\{ \text{Kolonne E} + D \}$) } Die Energie wurde dem Schwinger zugeführt

Excel-File
"R1-Schwing-7-Energievergleich.xls"

Die mechan. Energie im Schwinger ist immer viele Zehnerpotenzen mehr, als das, was elektr.

zugeführt wurde. : Erstes Bild \rightarrow mechan. Energie im Schwinger

Zweites Bild \rightarrow elektr. Energie im Schwinger

Drittes Bild \rightarrow Zugeführte elektr. Energie (F)

\Rightarrow Die mechan. Energie bleibt fast als Reingerinn übrig,

bis der Schwinger plötzlich bei: $E_{enth}[i] = 17744$ zerbricht (Clattenberstung)

Die Input-Daten dazu habe ich auf im Excel-Spread "Param-optimierung-06-7-Energievergleich.xls"

Hier sieht man, wie Volumenenergie in mechan. Schwingungsenergie verwandelt wird.