

Aufgabe 2.9 Ableitung mechanischer Schemata und Schaltungen

Geben Sie für die mechanischen Systeme in den Bildern 2.16 (a) bis (g) die mechanischen Schemata und die mechanischen Schaltungen an.

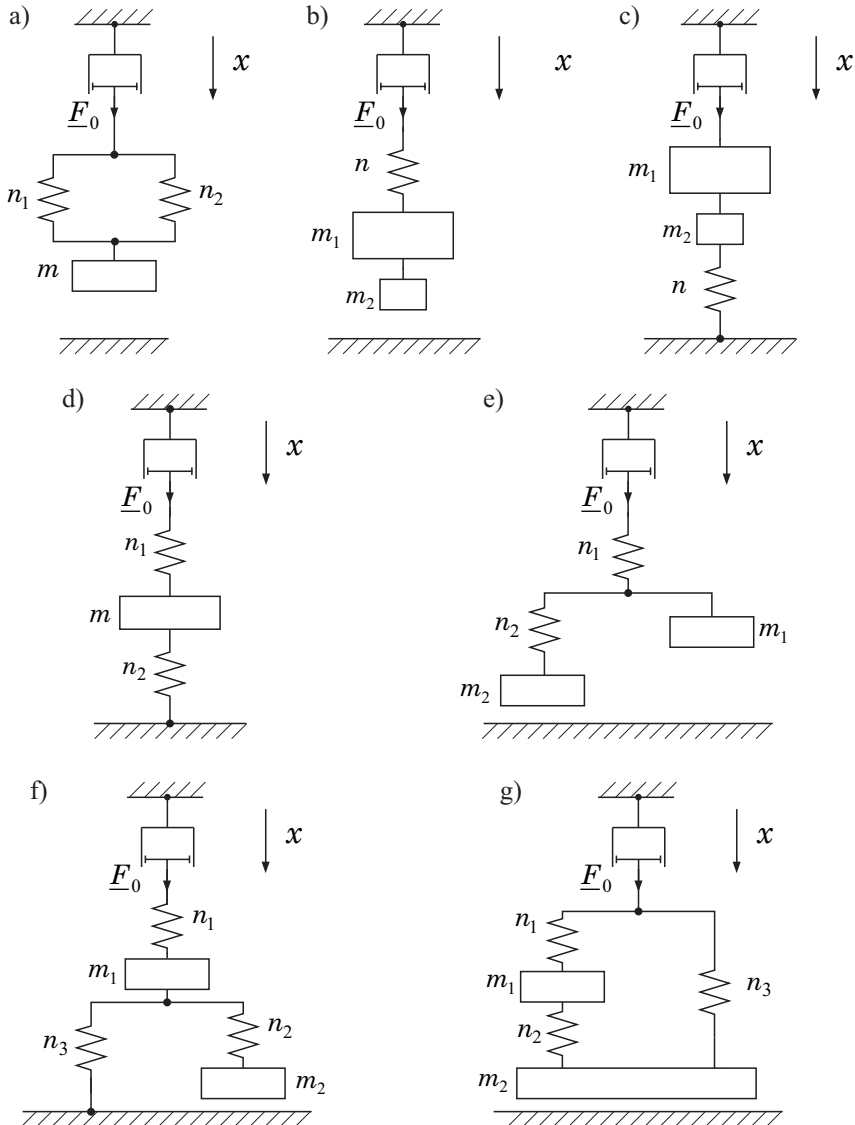


Bild 2.16 Verschiedene Feder-Masse-Reibungs-Systeme

Lösung

Als erstes legen wir die *Systempunkte* fest. Ein Systempunkt

- markiert einen Punkt mit gleicher Geschwindigkeit aller dort befestigten Netzwerkelemente in Bezug auf den starren Rahmen und
- verteilt somit die Kräfte.

In der *Strukturbeschreibung*, die auch als *mechanisches Schema* bezeichnet wird, ist die Wirkungsrichtung durch einen (+) Pfeil gekennzeichnet, um aus den Ergebnissen der Netzwerksimulation wieder auf den tatsächlichen Zustand zu einem Zeitpunkt schließen zu können. Das mechanische Schema ist in Bild 2.17 links dargestellt. Jede Masse im translatorischen System erhält eine virtuelle Verbindung zum starren Rahmen. Der geschlossene Kraftfluss bildet das sich einstellende Kräftegleichgewicht grafisch ab. Sind weitere Netzwerkelemente mit der Masse verbunden, dann ist die Gesamtkraft die Summe aus der Beschleunigungskraft der Masse und den Kräften, die auf die weiteren Elemente wirken. Im Schema ist das ein Kraftteiler. Mit Ausnahme der Quellsymbole werden noch nicht die Symbole der Schaltungsdarstellung verwendet.

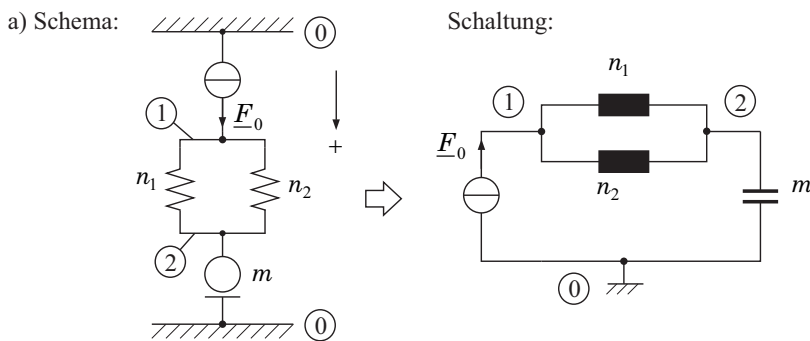
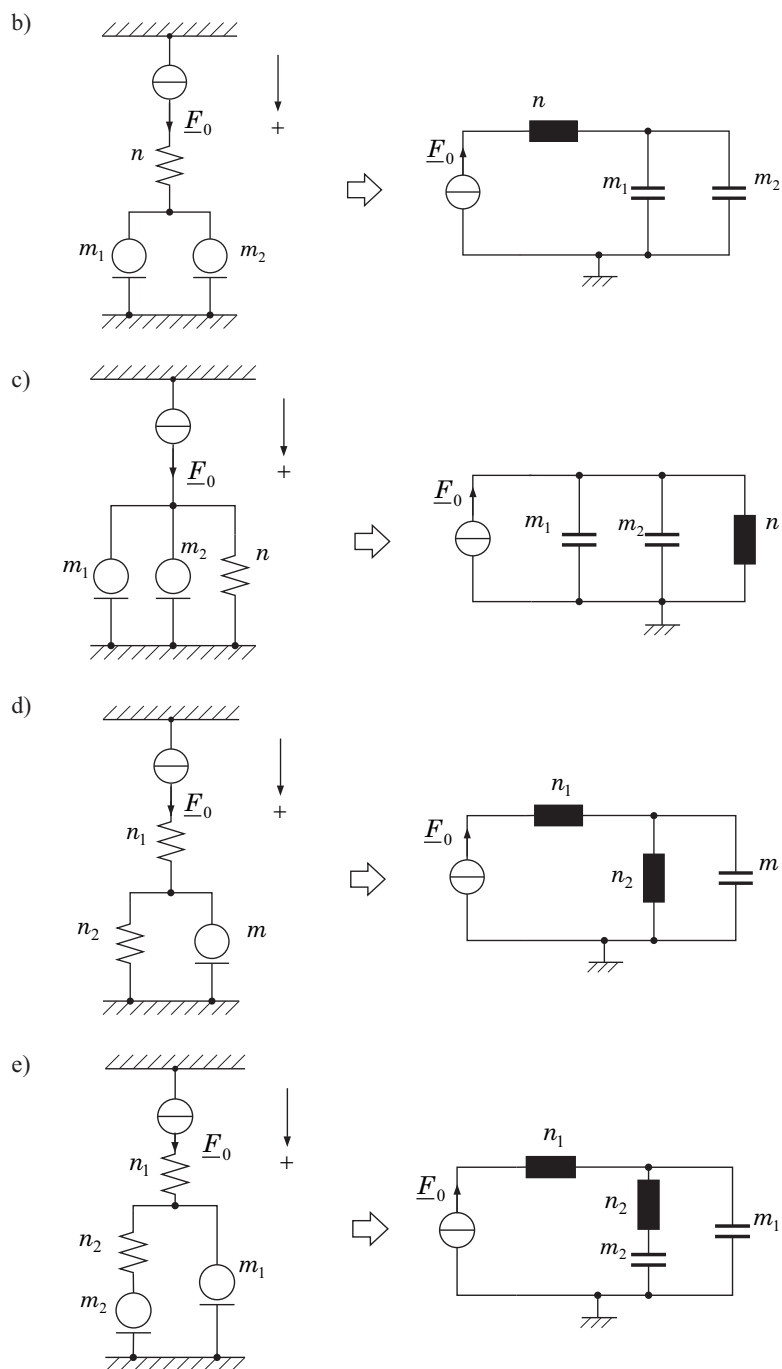


Bild 2.17 Darstellung des mechanischen Systems aus Bild 2.16 a) als mechanisches Schema (Struktur) und mechanische Schaltung.

Beim Übergang zur Schaltungsdarstellung ersetzen wir die Symbole für Masse und Nachgiebigkeit durch die Symbole von Kondensator und Induktivität. Deswegen handelt es sich aber *nicht* um eine *Ersatzschaltung*. Schließlich ersetzt ja nicht ein Kondensator eine Masse, sondern wir verwenden lediglich ein grafisches Symbol für die mathematische Differenziation oder Integration. Ein Netzwerkanalysenprogramm (z.B. SPICE) ordnet dann jedem Symbol die entsprechende Differenzialgleichung vor der Verhaltenssimulation zu.

Die Lösungen für die Teilaufgaben b) bis g) ist nachfolgend in Bild 2.18 angegeben.



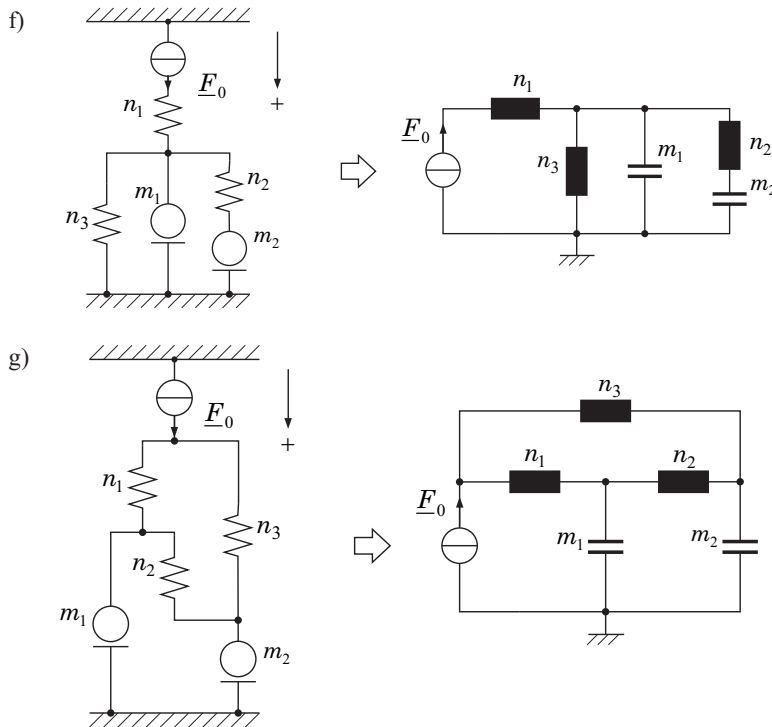


Bild 2.18 Darstellung der mechanischen Systeme aus Bild 2.16 b) bis g) als mechanische Schemata (Strukturen) und mechanische Schaltungen.

Aufgabe 2.10 Beschreibung realer mechanischer Systeme als mechanische Schaltungsdarstellungen mit konzentrierten Netzwerkelementen

In dieser Aufgabe sollen reale Systeme, wie sie uns täglich begegnen, mit Hilfe von konzentrierten Bauelementen beschrieben werden. Mechanische Teilsysteme aus Massen, Nachgiebigkeiten und Reibungen können mit Symbolen der Elektrotechnik in Netzwerkform als Schaltung dargestellt werden. Durch die Vereinfachung des realen mechanischen Systems als mechanische Strukturdarstellung (mechanisches Schema) lässt sich die Netzwerkdarstellung erleichtern. Diese Vorgehensweise soll an ausgewählten Beispielen erläutert werden.

Die in den Bildern 2.19 bis 2.21 gezeigten realen mechanischen Systeme sollen als mechanische Schaltungen dargestellt werden.

Teilaufgaben:

- Beschriften Sie alle Bauelemente (Quellen, Massen, Reibungsimpedanzen und Federn) in den Zeichnungen, die für das Erstellen der Schaltungen wichtig sind.

- b) Zeichnen Sie das mechanische Schema der Anordnung. Stellen Sie das mechanische Schaltbild auf und nennen Sie stichpunktartig, welche Betrachtungen Sie zum Finden des Schaltbildes angestellt haben. In dem Beispiel nach Bild 2.21 sind elektrische Effekte zu vernachlässigen.
- c) Leiten Sie für alle Bauelemente die Beziehung zwischen der Fluss- und der Differenzgröße her.

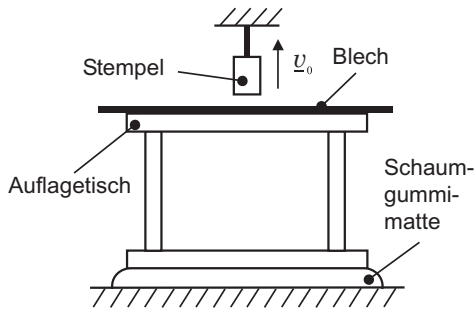


Bild 2.19 Stanzvorrichtung für Bleche. Der Arbeitsplatz ist vereinfacht dargestellt.

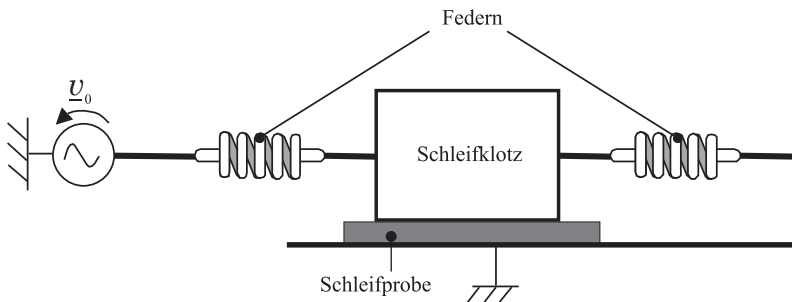


Bild 2.20 Mit zwei Federn verbundener Schleifklotz auf einer festen Unterlage. Der Klotz wird durch die Geschwindigkeitsquelle zum Schwingen angeregt.

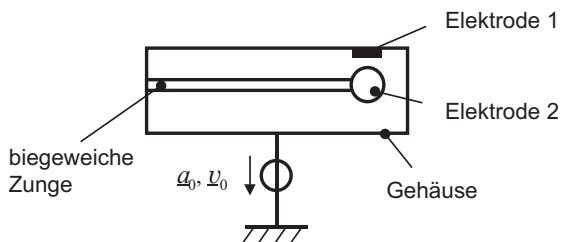


Bild 2.21 Kapazitiver Beschleunigungssensor, z. B. als Silizium-Biegeelement in MEMS-Technologie hergestellt

Lösung Teilaufgabe Stanztisch

zu a) und b) siehe Bilder. 2.22 und 2.23

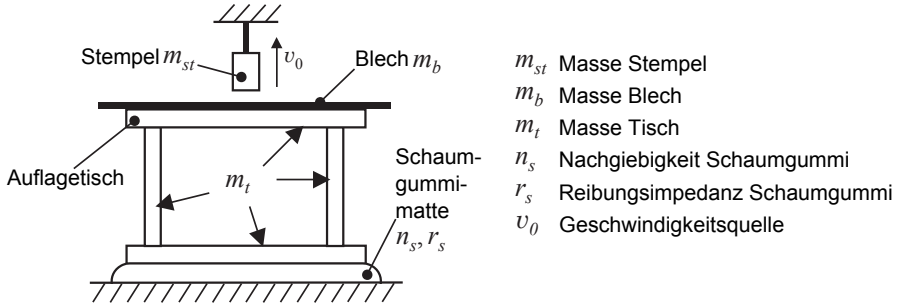


Bild 2.22 Mechanische Bauelemente des Stanztisches.

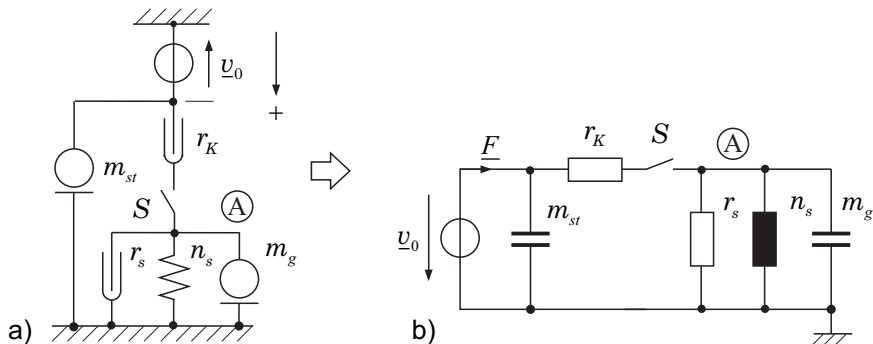


Bild 2.23 a) Mechanisches Schema und b) zugehörige Schaltungsdarstellung des Stanztisches. Der Schalter S ist beim Kontakt von Stempel und Blech geschlossen.

zu c) Die Bewegung des Stempels wird nach dem Aufsetzen auf das Blech durch eine zusätzliche Reibung r_K behindert. Nach dem Stanzvorgang und dem Abheben des Stempels entfällt diese Reibung und es gilt für den Stanztisch:

$$\frac{v}{F} = \frac{1}{j\omega m_g + \frac{1}{j\omega n_s} + r_s} = \frac{j\omega n_s}{1 + j\omega n_s r_s - \omega^2 m_g n_s}$$

mit $m_g = m_t + m_b$ bei geöffnetem Schalter. Normiert auf ω_0 ergibt sich mit

$$\omega_0^2 = \frac{1}{n_s m_g} \quad \text{und} \quad Q = \frac{1}{\omega_0 n_s r_s}$$

folgende Übertragungsfunktion:

$$\underline{B} = \frac{\underline{v}}{\underline{F}} = \omega_0 n_s \frac{j \frac{\omega}{\omega_0}}{1 + j \frac{\omega}{\omega_0} \frac{1}{Q} - \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^2}.$$

Lösung Teilaufgabe Schleifklotz

zu a) und b) siehe Bilder 2.24 und 2.25.

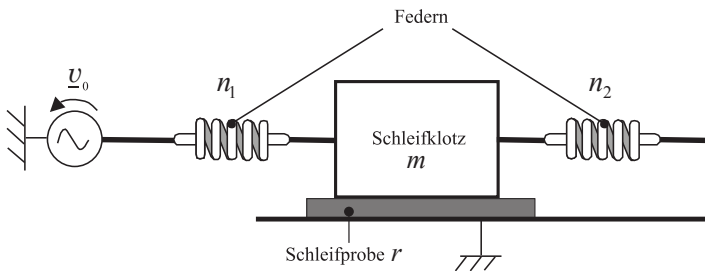


Bild 2.24 Mechanische Bauelemente der Schleifklotzanordnung

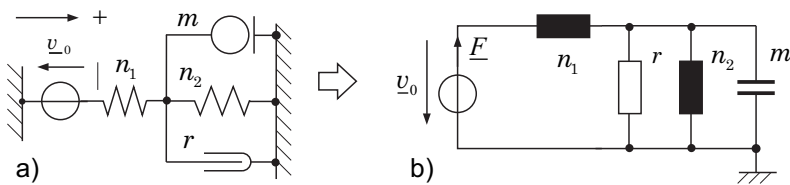


Bild 2.25 Mechanisches Schema (links) und zugehörige Schaltungsdarstellung der Schleifklotzanordnung (rechts)

zu c)
$$\underline{B} = \frac{\underline{v}}{\underline{F}} = j\omega n_1 + \frac{1}{j\omega m + \frac{1}{j\omega n_2} + r}.$$

Lösung Teilaufgabe Beschleunigungssensor

zu a) und b) siehe Bilder 2.26 und 2.27.

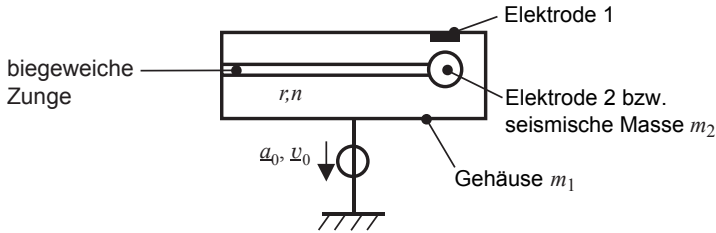


Bild 2.26 Mechanische Bauelemente des Beschleunigungssensors

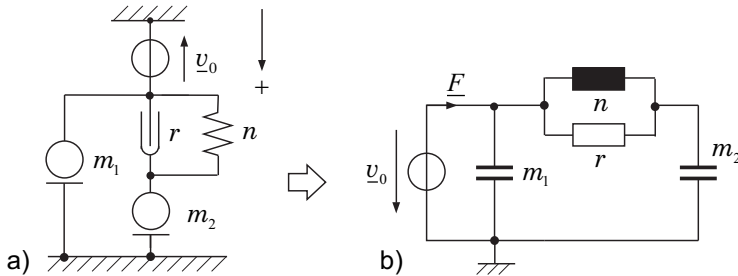


Bild 2.27 a) Mechanisches Schema und b) zugehörige Schaltungsdarstellung des Beschleunigungssensors

$$\text{zu c)} \quad \frac{\underline{v}}{\underline{F}} = \frac{1}{j\omega m} + \frac{1}{\frac{1}{j\omega n} + r} = \frac{1}{j\omega m} \cdot \frac{1 + j\omega nr - \omega^2 mn}{1 + j\omega nr} \quad \text{mit}$$

$$\frac{\underline{a}}{\underline{F}} = j\omega \frac{\underline{v}}{\underline{F}} = \frac{1}{m} \cdot \frac{1 + j\omega nr - \omega^2 mn}{1 + j\omega nr}.$$

Aufgabe 2.11 Mechanik eines piezoelektrischen Kompressionsbeschleunigungssensors

In Bild 2.28 ist ein piezoelektrischer Kompressionsbeschleunigungssensor dargestellt. Eine auf das Gehäuse wirkende Beschleunigung erzeugt über die seismische

Masse eine Kraft auf die piezoelektrische Keramikscheibe, die mit einer elektrischen Spannung reagiert. Zwischen der Masse und dem Gehäuse befindet sich Öl, so dass dort eine mechanische Reibung wirksam ist.

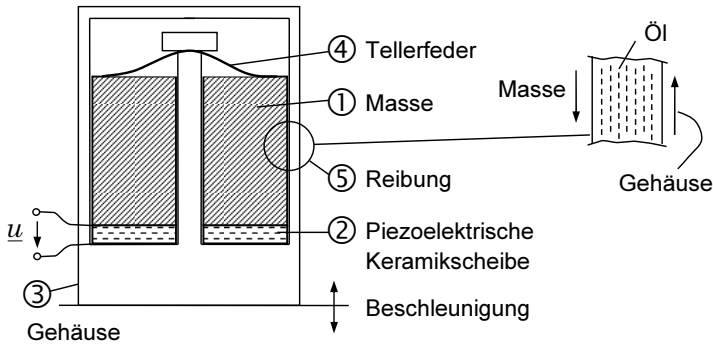


Bild 2.28 Piezoelektrischer Kompressionsbeschleunigungssensor

Aufgabe: Skizzieren Sie für den Beschleunigungsaufnehmer das mechanische System, das mechanische Schema und die mechanische Schaltungsdarstellung.

Lösung

In Bild 2.29 ist das vereinfachte mechanische System, das mechanische Schema und die Schaltung des piezoelektrischen Beschleunigungssensors dargestellt.

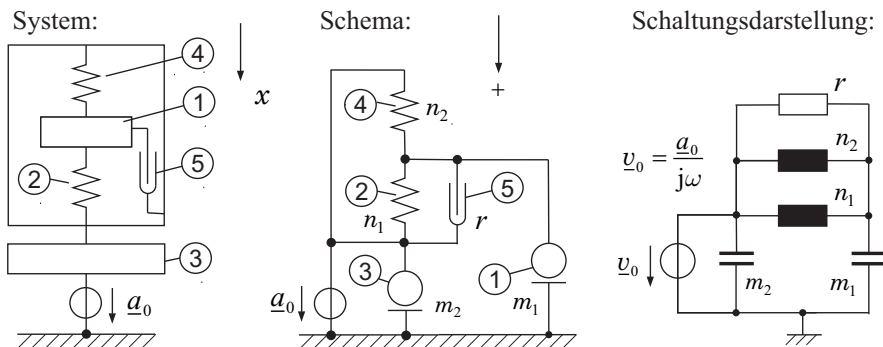


Bild 2.29 Systemdarstellung, Schema (Strukturdarstellung) und Schaltungsdarstellung des piezoelektrischen Kompressionsbeschleunigungssensors

In Aufgabe 7.17 wird das elektromechanische Verhalten des Kompressionsbeschleunigungssensors einschließlich des piezoelektrischen Wandlers analysiert.

Aufgabe 2.12 Resonanzfrequenz eines Feder–Masse–Systems

Die statische Durchsenkung des in Bild 2.30 skizzierten Feder–Masse–Systems unter der Wirkung der Erdanziehung beträgt $\Delta l = 1\text{cm}$.

Aufgabe: Berechnen Sie die Resonanzfrequenz des Systems.

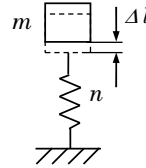


Bild 2.30 Statische Durchsenkung eines Feder–Masse–Systems.

Lösung

Mit der Erdbeschleunigung $g = 9,81\text{ m/s}^2$ gilt:

$$\omega_0^2 = \frac{1}{nm}, \quad \xi_{\text{stat}} = \Delta l = nF_{\text{stat}} = nmg = \frac{g}{\omega_0^2}, \quad f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{\Delta l}} = 5\text{ Hz}.$$

Aufgabe 2.13 Schwingungsdämpfung mit weicher Unterlage

Ein schwingungsempfindliches Messgerät A mit einer Masse von 0,5 kg soll in der in Bild 2.31 skizzierten Weise über eine weiche Unterlage B auf einer schwingenden Platte befestigt werden. Die Unterlage kann durch eine Parallelverbindung einer Nachgiebigkeit n und einer Reibungsimpedanz r abgebildet werden. Die Resonanzfrequenz $f_0 = 1/(2\pi\sqrt{nm})$ wurde zu 15 Hz bestimmt. Die Reibungsimpedanz r ergab sich als $r = 0,1\sqrt{nm}$.

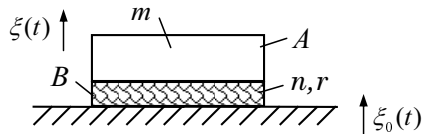


Bild 2.31 Dämpfung eines schwingungsempfindlichen Gerätes durch eine nachgiebige Unterlage.

Teilaufgaben:

- Skizzieren Sie für das durch die Unterlage gedämpfte System das mechanische Schema und die mechanische Schaltungsdarstellung.
- Geben Sie die Schwingungs-Übertragungsfunktion $\underline{\xi}/\underline{\xi}_0$ der durch die Unterlage gedämpften Anordnung an.
- Skizzieren Sie den Verlauf von $|\underline{\xi}/\underline{\xi}_0|$ als Funktion der Frequenz in einem doppelt logarithmischen Maßstab.
- Wie groß ist die Verminderung von $|\underline{\xi}(f)|$ (I) bei $f = 45\text{ Hz}$ und (II) bei $f = 300\text{ Hz}$ gegenüber dem Wert bei sehr tiefen Frequenzen?

Aufgaben und Lösungen zur Schaltungsdarstellung und
Simulation elektromechanischer Systeme

In Mikrotechnik und Mechatronik

Marschner, U.; Werthschützky, R.

2015, XVI, 424 S. 450 Abb. Mit Online-Extras., Softcover

ISBN: 978-3-642-55168-0