

Patentanmeldung

Vorrichtungen für elektrische Profiltiefenmessung von Fahrzeugreifen bei stehendem oder bewegtem Fahrzeug.

Technisches Gebiet:

Eine sichere Haftung eines Fahrzeugs auf der Strasse ist in erster Linie durch einen guten Reifensatz zu erreichen. Je höher die Haftreibung zwischen Reifen und Untergrund ist, desto sicherer hält das Fahrzeug seine Spur. Verschiedene Parameter wirken negativ auf die Haftreibung: Hohe Nässe, Glätte, geringe Profiltiefe, falscher Gasdruck, zu hohes Alter der Reifen, Reifentemperatur usw. Die Strassenverkehrsordnungen der einzelnen Staaten schreiben verschiedene einzuhaltende Reifen-Parameter vor (Profiltiefe, Gasdruck). Die Vorgaben können von Staat zu Staat unterschiedlich sein. Die Fahrzeughalter sind verpflichtet die Grenzwerte gegenüber dem Staat und den Empfehlungen der Versicherer einzuhalten.

Die Überprüfung der Profiltiefe erfolgt am einfachsten bei stehendem Fahrzeug mit einer Schiebelehre. Für bewegte Fahrzeuge bis zu 120 km/h werden Laser-Systeme verwendet, die in der Strassendecke eingebaut werden.

In der folgenden Offenbarung der Erfindung wird ein neuer Sensor beschrieben, der direkt im Reifen eingebaut wird und kontinuierlich die Profiltiefe messen kann. Die Abfrage des Sensors erfolgt mit Hilfe der bekannten Transponder-Technologie. Aus den Reifendaten können Warnungen und Prognosen für die Nutzung des Fahrzeugs und seine Fahrweise abgeleitet werden. Die Ergebnisse können dem Fahrer über ein Display mitgeteilt werden oder sie werden unterschiedlichen Assistenzsystemen zur Verfügung gestellt. Der Halter hat immer eine Übersicht über aktuellen Reifendaten und damit über die Einhaltung der Grenzwerte, und die Assistenzsysteme können in Abhängigkeit der aktuellen Reifenparameter optimal ihren Dienst verrichten.

Stand der Technik:

Reifenprofiliefen werden z. Z hauptsächlich bei stehendem Fahrzeug gemessen. Die Messung der Profiltiefen erfolgt mechanisch über einen Längenvergleich. Dazu gibt es verschiedene Schiebelehren, die aber alle das gleiche Prinzip von einer oder zwei gegeneinander beweglichen Skalen aufweisen.

Modernere Einrichtungen in Werkstätten oder eingelassen Mess-Systeme in Strassendecken erlauben eine optische Profilvermessung (Lasertriangulation). Durch schnelle CCD-Zeilensensoren und einen Halbleiterlaser, der über einen Spiegel abgelenkt wird, können Profiltiefenmessungen an bewegten Fahrzeugen bis zu 120 km/h vorgenommen werden. Diese Systeme sind jedoch sehr teuer, gross in ihren geometrischen Abmessungen und können daher nicht in normalen Fahrzeug eingebaut werden.

Kontinuierliche Messung der Profiltiefe wurde durch den Einsatz von Ultraschall-Sender und –Empfänger, direkt im Reifeninnern, von verschiedenen Reifenherstellern vorgeschlagen. Dieses System hat aber die wesentlichen Nachteile des hohen Energiebedarfs und der starken Störgeräusche, die durch den Rad-Lauf auf der Strasse je nach Untergrund sehr unterschiedlich einwirken.

Eine weitere Lösung ist eine stufige Profilmessung, bei der elektrische Leiterschleifen, die im Profil eingebettet sind durch das Abfahren unterbrochen werden. Hier ist ein wesentlicher Nachteil, dass die unterbrochenen Leiterschleifen durch leitenden Schmutz und Wasser, je nach Bodenbelag, wieder sehr niederohmig werden können. Zudem sind stufige Datenwerte für die Assistenzsysteme nicht besonders geeignet.

Die Firma Michelin setzt auf kontinuierliche Messung der Profiltiefe durch die Änderung eines sich verkleinernden Widerstands oder eines Kondensators, die im Profil eingebaut sind. Auch hier kann keine exakte Profiltiefe ermittelt werden, da die auf den Reifen einwirkenden Umwelteinflüsse wie eine Änderung der Leitfähigkeit oder des Dielektrikums des Strassenbelags ebenfalls eine Änderung der von den Sensoren gelieferten Messwerte zur Folge hat.

Die Firma Continental misst verschiedene zusätzliche Reifenparameter wie z.B. die Torsion der Wandung um genauer auf die Profiltiefe zu schliessen.

Die Firma Bridestone benutzt eine Schallanalyse um Aussagen über die Haftreibung des Reifens, ohne Kennung der Profiltiefe, herleiten zu können.

Es gibt bisher keine Lösung für eine direkte, kontinuierliche und sichere Kontrolle der Profiltiefe des einzelnen Reifens bei bewegtem Fahrzeug für den Fahrer selbst und die Fahrzeugassistenzsysteme.

Offenbarung der Erfindung:

Die Erfindung beschreibt einen neuen, billigen Sensor, der direkt in das Profil eines Reifens eingebaut wird. Der Sensor wird gleichzeitig mit der Profilreduzierung durch Abnutzung geometrisch kleiner und ändert dadurch seine physikalischen Eigenschaften. Je nach Einsatz der Reifen auf Personen-Kraft-Wagen (PKW), Last-Kraft-Wagen (LKW) oder Sonderfahrzeugen/Motorfahrzeugen kann der Sensor an unterschiedlichen Stellen einzeln oder mehrfach im Profil eines Reifens platziert werden. Die Länge des Sensors in Laufrichtung des Reifens kann ebenfalls je nach Einsatz variiert werden. Für gewöhnlich liegt die Länge in Laufrichtung zwischen 1 mm bis 10 mm um eine genügend grosse Messgenauigkeit der Profiltiefenmessung zu erhalten. Je grösser das Volumen des Sensors ist, desto genauer und einfacher erhält man den Messwert der Profiltiefe. Der hier beschriebene Sensor ist einfach in der Herstellung, benötigt wenig Material und ist dadurch sehr billig. In der Praxis sind die Abmessungen des fertigen Sensors von der Profiltiefe des neuen Reifens und vom Reifentyp abhängig. Die Sensordicke ist schmal und nur ca. 1 mm bis 5 mm. Die Höhe entspricht der Profiltiefe plus einige Millimeter, aus denen der Minimalwert des Sensors nach 100% Verlust des Profils abgeleitet wird.

Beispiele für den Einbau zeigen die Bilder Fig. 1 bis Fig. 3. Gezeigt ist ein Schnitt durch den Reifen, quer zur Laufrichtung.

A, B, C sind die Sensoren, D ist der Reifenmantel.

Fig. 1 zeigt eine Anordnung mit nur einem Sensor in der Reifenmitte. Diese Anordnung ist für schmale Reifen, wie z. B. Motorradreifen oder kleinere PKW ausreichend.

Fig. 2 zeigt eine Anordnung mit zwei Sensoren links und rechts. Mit dieser Anordnung kann ein ungleichmässiges Abfahren des Reifenprofils erkannt werden. Diese Anordnung ist für die meisten PKW ausreichend.

Fig. 3 zeigt eine Anordnung mit drei Sensoren links, in der Mitte und rechts. Diese Anordnung ist für breite Reifen und erfasst alle Fälle von möglichen Profiltiefenabnutzungen. Diese Anordnung sollte bei LKW und Sonderfahrzeugen angewendet werden.

Es reicht aus den oder die Sensoren nur in einer Querlinie eines Kreisabschnitts des Reifens einzubauen um auf die gesamte Profiltiefe des Reifens zu schliessen.

Sensoraufbau:

Der hier beschriebene Sensor ist ein in einem definierten Volumen eingebrachtes Material mit bestimmten physikalischen Eigenschaften. Das Material ist ein magnetisch sensitives Material wie z. B. Gummi gemischt mit Eisenpulver oder Gummi gemischt mit Ferrit. Die Messung der physikalischen Eigenschaften des definierten endlichen Volumens erfolgt über ein magnetisches Wechselfeld welches durch eine in diesem Material eingebettete Spule erzeugt wird. Die Frequenz des Mess-Stroms kann so gewählt werden, dass es keine Wechselwirkung mit beliebigen Strassenuntergründen gibt. Die Spulenanschlüsse werden durch das Stahldrahtgeflecht ins Innere des Reifens geführt und an eine Mess-Schaltung mit Transponder angeschlossen. Der Transponder sorgt für die Energieversorgung und die Übertragung der Daten zum Fahrzeug.

Bekannt ist das Ampérsche Gesetz, wonach magnetische Felder nicht durch Quellen erzeugt werden, sondern durch bewegte elektrisch Ladungen. Es entsteht ein wirbelförmiges magnetisches Feld um die sich bewegenden elektrischen Ladungen (hier Elektronen in einem Leiter). Daher lautet die differentielle und vektorielle Beschreibung für die bewegten Ladungen, das magnetische Feld und die Quellenfreiheit des Feldes im Vakuum:

$$\text{rot } \vec{B} = \mu_0 \vec{j} \quad \text{oder} \quad \text{rot } \vec{H} = \vec{j}$$
$$\text{div } \vec{B} = 0$$

$\text{rot } \vec{B}$ = lokale Wirbelstärke des Vektorfeldes

\vec{B} = magnetische Induktion

\vec{H} = magnetische Feldstärke

\vec{j} = Stromdichte

μ_0 = magnetische Feldkonstante = $4\pi 10^{-7} \frac{Vs}{Am}$

Mit Hilfe des Stokesschen Integralsatzes für stetig differenzierbare Vektorfelder erhält man die integralen Formen des Ampérschen Gesetzes:

$$\mu_0 I = \oint \vec{B} \cdot d\vec{s} \quad \text{oder} \quad I = \oint \vec{H} \cdot d\vec{s}$$

I = Elektronenstrom

\oint = Umlaufintegral über Randkurve

$d\vec{s}$ = infinitesimaler Integrationsweg

Wickelt man einen elektrischen Leiter zu einer Spule auf, so gehen die Wicklungszahl und ihre Länge in die magnetische Induktion ein (hier nur eine Koordinate; z.B. x-Achse):

$$\mu_0 nI = lB \text{ oder } nI = lH$$

n = Zahl der Spulenwicklungen

l = Länge der Spule

Wird die Spule mit stofflicher Materie gefüllt, kann eine Änderung der magnetischen Induktion auftreten. Diese Änderung ist durch die Permeabilitätszahl μ_r der stofflichen Materie gekennzeichnet und ergibt sich aus dem Verhältnis von Induktion mit stofflicher Materie zu Induktion einer Vakuumpule gleicher Baugometrie:

$$\mu_r = \frac{B}{B_0}$$

B_0 = magnetische Induktion (nur eine Achse) im Vakuum

B = magnetische Induktion (nur eine Achse) in stofflicher Materie

Die Permeabilitätszahl μ_r kann in drei Gruppen gegliedert werden:

$\mu_r \gg 1 \rightarrow$ ferromagnetische Stoffe (grosse Verstärkung der Induktion)

$\mu_r > 1 \rightarrow$ paramagnetische Stoffe (geringe Verstärkung der Induktion)

$\mu_r < 1 \rightarrow$ diamagnetische Stoffe (geringe Schwächung der Induktion)

Weitere Unterscheidungen werden für ferromagnetische Stoffe getroffen in Abhängigkeit ihres Restmagnetismus nach dem ersten Magnetisieren (weich- oder hartmagnetisch).

Die Permeabilitätszahl μ_r ist keine Konstante und stark nichtlinear. Sie ist abhängig von der Frequenz und der Stärke des magnetischen Feldes, von der Temperatur und von Stoff selbst, der in das magnetische Feld eingebracht wird. In Rechnungen wird sie deshalb zur Vereinfachung und Allgemeingültigkeit als komplexe Zahl behandelt. Der Realteil steht für die induktiven Effekte, der Imaginärteil für die Verluste.

Die weiteren Betrachtungen werden als ideal und damit verlustfrei angenommen.

Gummi ist mit einem Wert für μ_r mit ca. $1,4 \cdot 10^{-5}$ angegeben, also diamagnetisch und damit für jegliche Form eines magnetfeldabhängigen Sensors nicht geeignet.

Um einen Sensor mit möglichst grosser Sensitivität (grossen Effekt) zu erhalten wird eine Verstärkung der Induktion der Spule benötigt. Dabei reicht es schon aus, wenn die Spule selbst und einen Bruchteil des sie umgebenden Volumens mit einem Stoff gefüllt wird, der ferromagnetische Eigenschaften besitzt. In diesem Stoff gibt es dann eine Konzentration der magnetischen Feldlinien und damit eine Verstärkung der Induktion.

Eisenpulver hat ein μ_r von 50 bis 150 und kann im Frequenzbereich bis zu 400kHz benutzt werden. Als Ferrite werden Mangan-Zink- und Nickel-Zink-Legierungen mit unterschiedlichen prozentualen Gewichtsanteilen verwendet. Für Mangan-Zink erhält man $300 < \mu_r < 20000$ mit Betriebsfrequenzen bis zu 20MHz und für Nickel-Zink sind die Werte bei $40 < \mu_r < 1500$ mit Betriebsfrequenzen bis zu 800MHz bekannt.

Alle ferromagnetischen Stoffe eignen sich zur Herstellung des hier beschriebenen Sensors. Um möglichst grosse Effekte zu erreichen muss in Abhängigkeit des verwendeten Stoffes das Sensorvolumen angepasst werden. Das Volumen wird bei kleinem μ_r gross gewählt und kann mit grösserem μ_r kleiner werden. Auch die prozentuale Aufteilung zwischen Gummi und ferromagnetischem Material spielt dabei eine Rolle; je mehr ferromagnetisches Material eingefügt wird, desto weniger sind die Eigenschaften von Gummi in diesem Volumen vorhanden.

Da die Eigenschaften des Reifens nicht geändert werden dürfen wird der Sensor aus einem Gemisch aus Gummi und einem ferromagnetischen Pulver hergestellt. Dieses Gemisch kann während der Herstellung des Reifens an der Sensorposition eingespritzt werden. Da der Gummi die Ferritpartikel auch im mikroskopischen Bereich umschliesst, gibt es keine Oxidationen des Pulvers, die nicht besonders Umweltfreundlich wären.

Ferromagnetische Pulver sind in verschiedenen Korngrössen im μm -Bereich erhältlich und können zur Optimierung bei verschiedenen Volumen-Grössen und verwendeten Frequenzen der Mess-Ströme optimal ausgewählt werden.

Die benötigte Spule wird vorher, ebenfalls an der Sensorposition, am Stahldrahtmantel mit einer Durchführung der Leiter zum Reifeninnern, mit Hilfe einer Halterung die gleiche stoffliche Eigenschaften hat wie das für den Sensor verwendete Gemisch, befestigt. Im Reifeninnern befindet sich die Mess-Schaltung an die die Spule angeschlossen wird und der Transponder, der zur Messdaten-Übermittlung und Energieversorgung genutzt wird.

Elektrisch betrachtet wird jedes Bauteil, das auf eine Stromänderung mit einer elektrischen Gegenspannung (Selbstinduktion) reagiert als Induktivität bezeichnet. Dabei ist die Grösse dieser Spannung der Geschwindigkeit der Stromänderung in der Spule direkt proportional. Für die Gleichung wird ein zusätzlicher Proportionalitätsfaktor benötigt, der Induktivität genannt wird.

$$U_i = L \frac{di}{dt}$$

U_i = Selbstinduktions-Spannung

L = Induktivität

$\frac{di}{dt}$ = Differenzial der Stromänderung (Geschwindigkeit der Stromänderung ist proportional zur Frequenz des elektrischen Stromes)

Der Proportionalitätsfaktor Induktivität beinhaltet die Geometrie der Spule, ihre Windungszahl, die magnetische Feldkonstante und die stofflichen Eigenschaften:

$$L = \frac{\mu_0 \mu_r A_e N^2}{l_e}$$

A_e = effektive Spulenquerschnittsfläche

N^2 = Zahl der Spulenwindungen zum Quadrat

l_e = effektive Spulenlänge (nur eine Koordinate)

Fig. 4 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines induktiven Profiltiefen-Mess-Sensors. K stellt das Gummigemisch mit dem ferromagnetischen Pulver dar, J die Spule. Oberhalb der Spule J gibt es einen geschlossenen Bereich, der die magnetischen Feldlinien gut leitet. Wird dieser Bereich durch die Reifenabnutzung kleiner werden l_e und A_e auch kleiner. A_e kann aber, je nach Geometrie, quadratisch kleiner werden. In Gegensatz dazu wird l_e nur linear kleiner; somit wird die Induktivität der Spule mit zunehmendem Reifenabrieb kleiner.

Grundsätzlich kann jede beliebige Lage der Spule im Sensorvolumen vorgesehen werden, es gibt immer einen messbaren Effekt mit der Profilreduzierung. Ebenfalls ist der Effekt vorhanden, wenn der gesamte Raum in und um die Spule mit einem Gummi-Ferrit-Gemisch ausgefüllt ist. Zwei wesentliche Ausführungsformen mit grossem Effekt zeigen die Abbildungen Fig. 5 und Fig. 6.

In Fig. 5 ist (A) das Sensorvolumen, das die Spule (B) beinhaltet, deren Anschlüsse (C) und (D) durch den Stahldrahtmantel ins Reifeninnere geführt werden. Die Profilhöhe (a) wird während der Reifenlaufzeit abgefahren. Wenn der Reifen komplett ohne Profil ist, ist die Sensorhöhe (b) erreicht.

In Fig. 6 ist (E) das Sensorvolumen, das die Spule (F) beinhaltet, deren Anschlüsse (G) und (H) durch den Stahldrahtmantel ins Reifeninnere geführt werden. Die Profilhöhe (c) wird während der Reifenlaufzeit abgefahren. Wenn der Reifen komplett ohne Profil ist, ist die Sensorhöhe (d) erreicht.

Elektrisch wird die Induktivität durch ihren Blindwiderstand (komplexer Widerstand) charakterisiert:

$$X_L = i \omega L = i 2 \pi f L$$

X_L = induktiver Blindwiderstand

Ω = Kreisfrequenz

f = Frequenz

$i = \sqrt{-1}$

Der induktive Sensor hat die grösste Induktivität bei voller Profiltiefe und durch die direkte Proportionalität den grössten Blindwiderstand. Wenn das Profil zu 100% abgefahren ist, ist seine Induktivität am kleinsten und sein Blindwiderstand ebenfalls. Der genaue Blindwiderstandswert lässt sich elektrisch auf verschiedene Arten bestimmen. Er kann direkt mit einer Konstant-Wechselstromquelle gespeist werden. Dann ist der an ihm auftretende Spannungsabfall (komplexe Betrachtung):

$$u_s = X_L i_c$$

u_s = komplexe Sensorspannung

i_c = komplexer konstanter Wechselstrom

Fig. 7 zeigt eine Konstant-Wechselstromquelle (J), den Sensor (K) und einen Messverstärker (L) mit einem sehr grossen Eingangswiderstand ($R_{in} \rightarrow \infty$).

Eine weitere Möglichkeit ist den Sensor über einen Widerstand an eine konstante Wechselspannungsquelle anzuschliessen. Dabei wird der Sensor mit einem ohmschen Widerstand in Reihe geschaltet. Fig. 8 zeigt diesen Sachverhalt: (M) ist die Konstant-Wechselspannungsquelle und liefert die Wechselspannung u_M . Diese Spannung liegt an den in Reihe geschalteten Widerstand (R_v) und dem Sensor (K) mit dem Blindwiderstand X_L an. Die Messung erfolgt wieder mit einem Messverstärker (L) mit hochohmigem Eingang. Bei dieser Anordnung erhält man für die Sensorspannung u_s :

$$u_s = \frac{u_M X_L}{X_L + R_v}$$

Eine Messbrücke, wie sie in Fig. 9 gezeigt wird, liefert sehr genaue Messwerte. Bei dieser Anordnung werden zwei Spannungsteiler-Verhältnisse verglichen. Beide Spannungsteiler werden aus der gleichen Konstant-Wechselspannungsquelle mit Strom versorgt. (R1) und (R2) bilden einen festen Spannungsteiler ohne Phasenverschiebung, (R3) und (K) sind ein Profiltiefen abhängiger Spannungsteiler mit Phasenverschiebung. Die Messung der Verstimmung der Brücke erfolgt auch hier mit einem Messverstärker (L) mit hochohmigem Eingang. Für Messung in der Brücke gilt:

$$u_s = u_M \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_3}{X_L + R_3} \right)$$

Patentansprüche:

1. Vorrichtung zur Messung von Reifenprofiliefen, dadurch gekennzeichnet, dass sich in einem oder mehreren bestimmten, endlichen Volumen des Reifenprofils, mit abnehmender Profiltiefe die elektrischen Eigenschaften des Volumens ändern.
2. Vorrichtung zur Messung von Reifenprofiliefen, dadurch gekennzeichnet, dass ein induktiv wirkender Blindwiderstand, der sich in einem oder mehreren bestimmten, endlichen Volumen des Reifenprofils befindet, mit abnehmender Profiltiefe verkleinert.

Zusammenfassung:

Diese Patentschrift beschreibt einen neuen induktiven Sensor, der in einem Reifen eingebaut wird und sich mit dem Abfahren des Profils ändert. Die elektrische Änderung kann als Messwert für die Profiltiefe genommen werden und zeigt sonst keine Einflüsse des Strassenbelages.

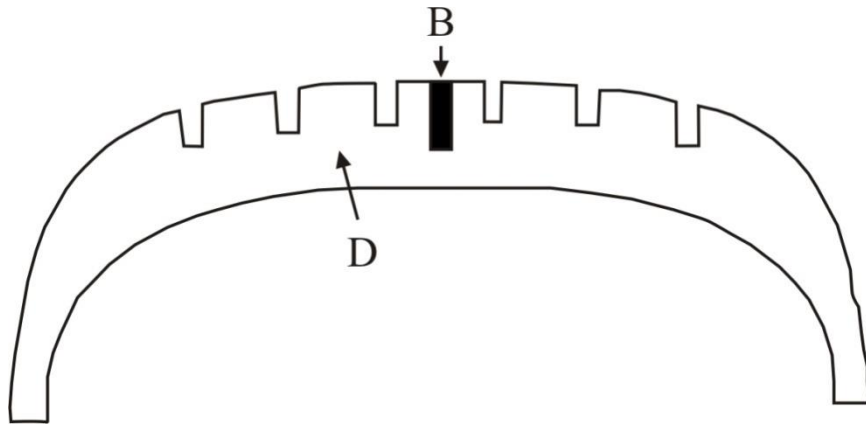


Fig. 1

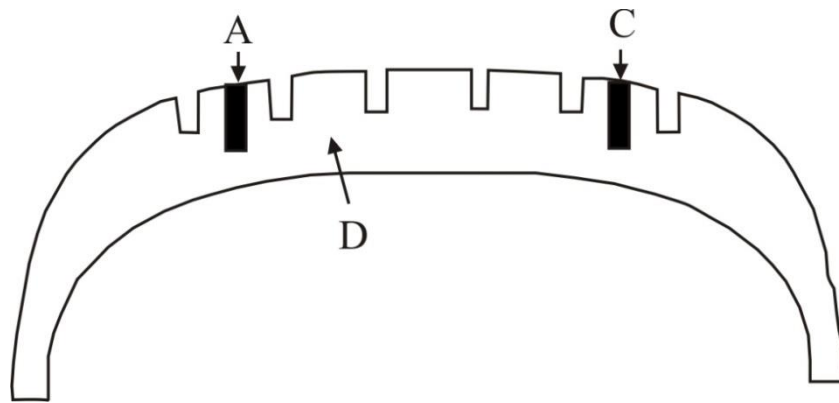


Fig. 2

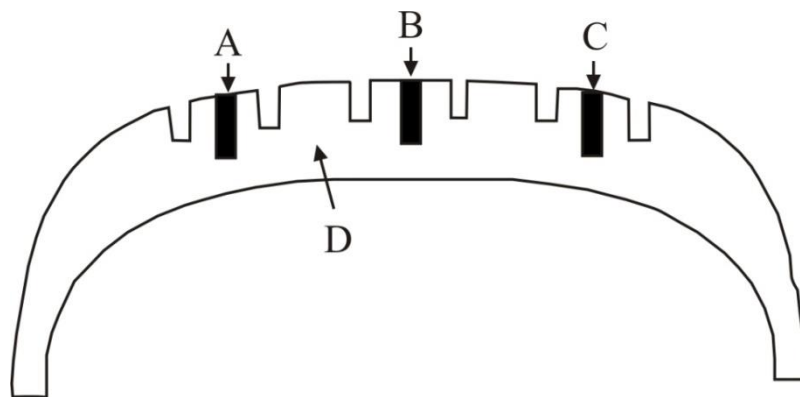


Fig. 3

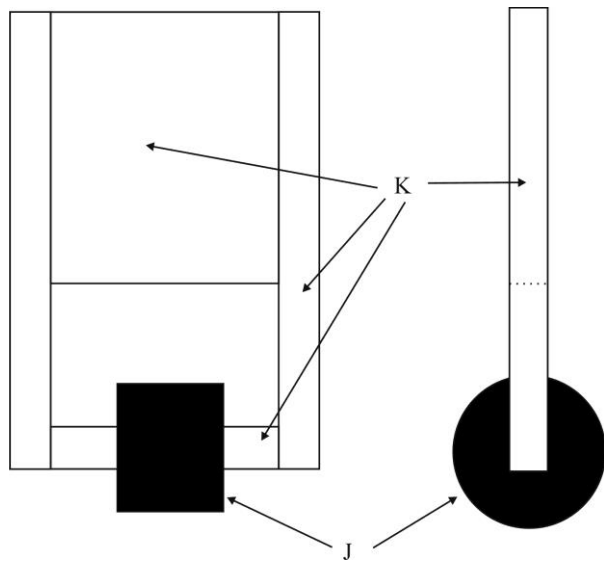


Fig. 4

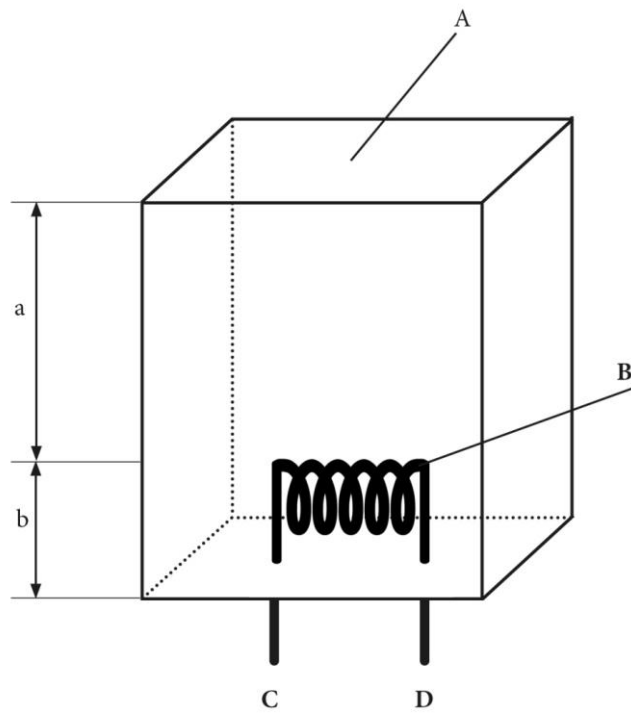


Fig. 5

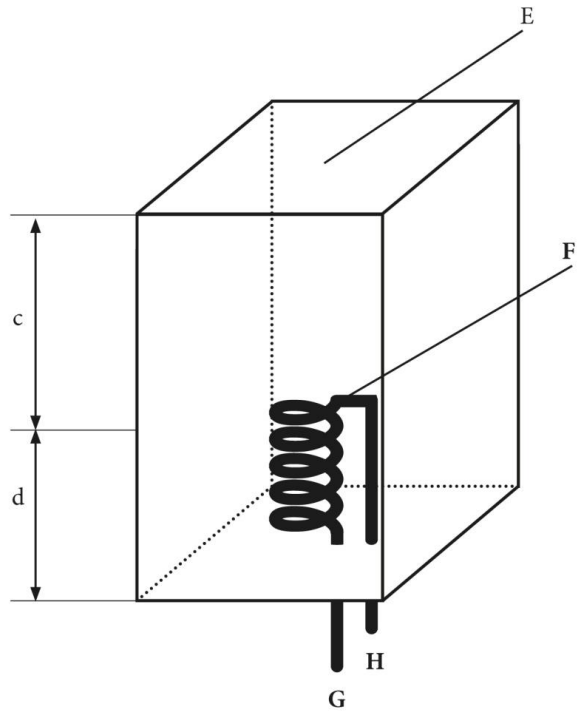


Fig. 6

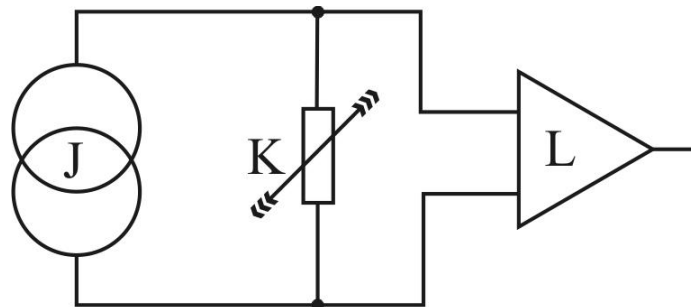


Fig. 7

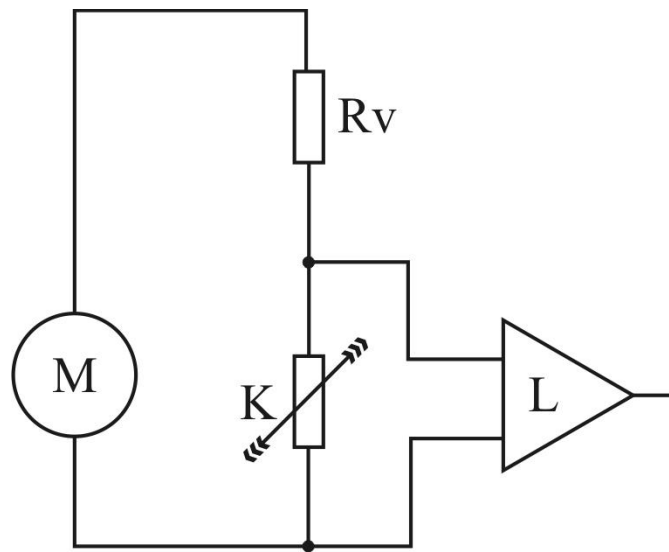


Fig. 8

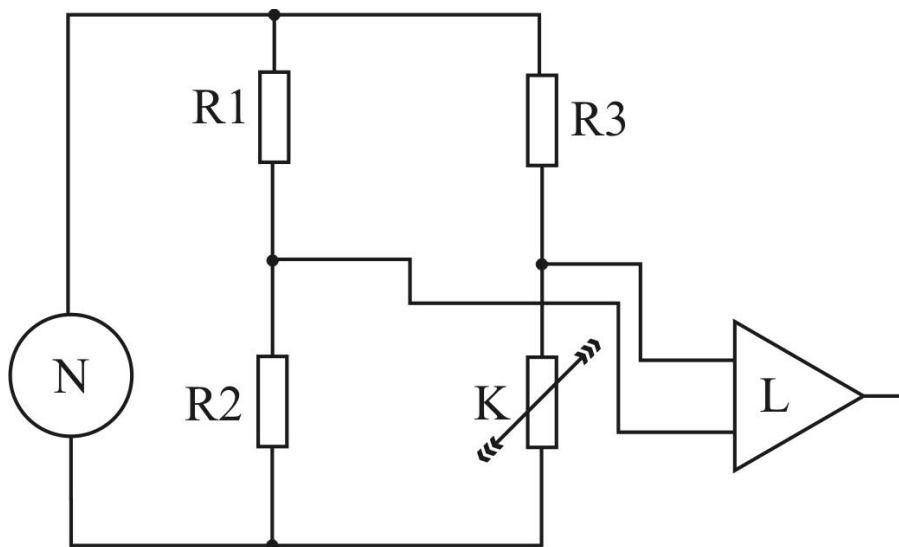


Fig. 9