

# a) Apparatus for making dynamic investigations on structures

Objektyp: **Group**

Zeitschrift: **IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH  
Kongressbericht**

Band (Jahr): **1 (1932)**

PDF erstellt am: **13.09.2024**

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

des Mémoires d'ailleurs remarquables, la position actuelle des investigations, ainsi que l'importance des appareils de mesure et leur domaine d'application,

Nous souhaitons tous que cette Réunion marque l'aube d'une fructueuse collaboration entre l'étude théorique et la recherche expérimentale, pour le défrichage total de ce domaine si disputé de la Dynamique des ouvrages.

## V 2

**NOUVELLES MÉTHODES DE MESURE DANS LA DYNAMIQUE DES  
PONTS ET CHARPENTES**  
**NEUERE DYNAMISCHE MESSVERFAHREN IM BAUWESEN**  
**NEW METHODS FOR DYNAMICAL MEASURING ON STRUCTURES**

Reichsbahnrat Dr. Ing. **Rudolf BERNHARD**,  
Reichsbahnzentralamt, Berlin.

Voir « Publication Préliminaire », p. 453. — *Siehe « Vorbericht », S. 453.*  
See " Preliminary Publication ", p. 453.

### Participants à la discussion

*Diskussionsteilnehmer*

### Participants in the discussion :

- a) Appareils servant à mesurer l'action des charges dynamiques sur les constructions  
*Apparate zur dynamischen Bauwerksuntersuchung.*  
Apparatus for making dynamic investigations on structures.

**S. TIMOSHENKO**,

Professor of Engineering University of Michigan, Ann Arbor (Michigan).

The instrument described here was developed for use as a stress recorder, but it could be adapted to a wide range of applications. The original instrument was conceived and designed by J. G. Ritter.

Principle of Operation : The principle on which the instrument operates can be seen from fig. 1.  $U_1$  and  $U_2$  are laminated iron cores which are attached rigidly to the base of the instrument. A is a laminated iron armature attached to a slide which moves relative to the base. When such a motion occurs, the air gap between A and  $U_1$  increases and that between A and  $U_2$  decreases, or vice versa. This changes the reluctance of the magnetic paths in  $U_1$  and  $U_2$  and consequently changes the impedances of the two coils which are wound on them. The coils on  $U_1$  and  $U_2$  and the resistances  $R_1$  and  $R_2$  form a Wheatstone Bridge. When the coils are thrown out of balance, current passes through the meter.

Meter : The choice of the meter is determined by the nature of the work being done. The strain gage is used most frequently in places where the quantity being measured varies rapidly. In such an application, an oscillograph must be used. The oscillograph element should be very heavily camped, or

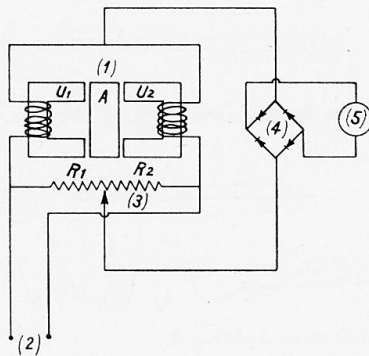


Fig. 1.

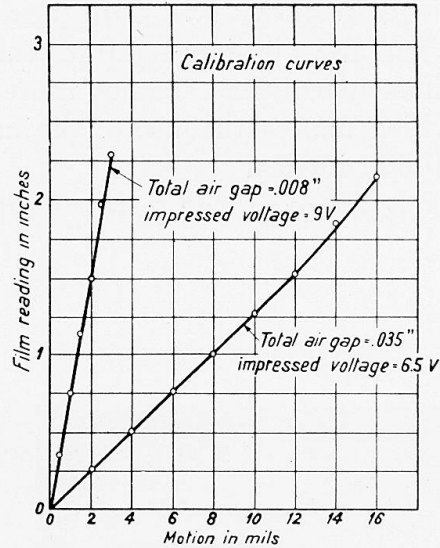


Fig. 2.

Fig. 1. — 1) Jauge magnétique pour la mesure des efforts (voir fig. 3 :

- 1) Dehnungsmesser.
- 1) Strain gauge (see Fig. 3).
- 2) Arrivée de courant (circuit à 60 périodes ou générateur à haute fréquence en cas de besoin avec transformateur; la consommation de courant par jauge à la fréquence 500 est de l'ordre de 20 watts);
- 2) Stromquelle (60  $\infty$  Wechselstrom oder Hochfrequenz-Generator und Frequenzumformer, wenn erforderlich. Der Stromverbrauch für die Messung bei 500  $\infty$  ist ungefähr 20 Watt).
- 2) Power supply (60 cycle circuit or H. F. generator if required and transformer. The power consumption per gauge at 500 cycles is about 20 watts).
- 3) Potentiomètre (50 ohms, type radio);
- 3) Potentiometer (50  $\Omega$ , Radiotyp).
- 3) Potentiometer (50 ohms, radio type).
- 4) Redresseur (petits disques d'oxyde de cuivre);
- 4) Gleichrichter (kleine Kupferoxyd-Platten).
- 4) Rectifier (small copper-oxide disks).
- 5) Appareil de mesure (voir texte).
- 5) Messinstrument (siehe Text).
- 5) Meter (see text).

Fig. 2. — Courbes d'étalonnage = Eichkurve = Calibration curves.

Mouvements en millièmes de pouce (0,0254 mm) = Bewegung in Tausendstel Zoll 0,025 mm.  
 Motion in mils. = Lectures en pouces (25,4 mm.) = Ablesungen in Zoll (25,4 mm.) = Film reading in inches.

Entrefer total = Luftspalt = Total air gap.

Tension d'alimentation = Betriebsspannung = Impressed voltage.

else the input to it should be filtered, in order to cut down the high frequency ripple.

For static or very low frequency deflections, the oscillograph can be replaced by an indicating meter. For variations up to about one cycle per second, it is possible to use a meter recording with a pen on a roll of paper.

**Sensitivity :** It is possible to detect motions as small as  $10^{-5}$  inches. The sensitivity varies in direct proportion to the impressed voltage and in inverse proportion to the width of the total air gap.

The gage is calibrated on a differential screw device which extends or contracts in very small amounts. The amount of motion is indicated by a dial gage. Fig. 2 shows two calibration curves from the same instrument. Note that when the air gap is large the calibration curve is not linear near the end. This curvature becomes more and more pronounced the larger the air gap, which makes the use of the instrument difficult for motions greater than about 0,030 inches.

The frequency of the power supply does not affect the sensitivity directly

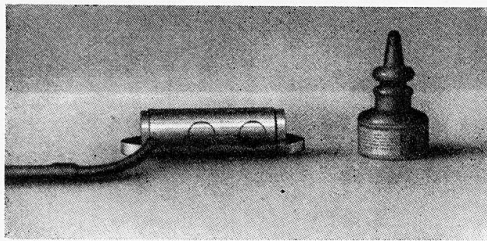


Fig. 3.

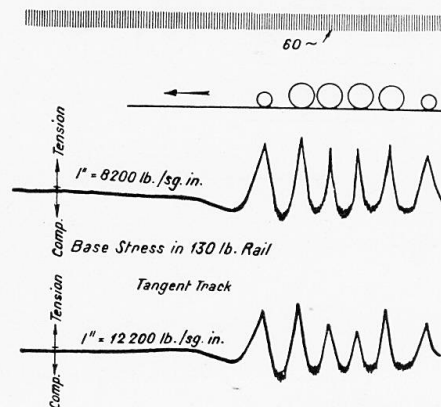


Fig. 4.

Fig. 4. — Efforts sur le patin d'un rail de 65 kg. — En haut : 1" (25,4 mm.) = 5,75 kg/mm<sup>2</sup>.  
 En bas : 1" = 8,5 kg/mm<sup>2</sup>.  
 Spannungen am Fuss einer Schiene v. 65 kg.  
 Base stress in 130 lb. Rail.

if the impressed voltage is maintained constant, but a higher frequency does permit use of a higher voltage without danger of overheating. In most of the work done so far, 500 to 750 cycles has been used.

**Mechanical Features :** Fig. 3 shows a photograph of one of the gages used for rail stress measurements. Its length, between gage points, is 4 inches. The armature and U-pieces are mounted in cylinders that slide inside of each other, thus giving very good guiding for the motion. It is possible to make small adjustments in the gage length of the instrument without disturbing the calibration. This makes it possible to move the gage from one location to another without recalibrating. Similar gages have been made in lengths varying from 2-3/4" to 8", and any gage length above about an inch could be made.

The best method of fastening the gage to the object being tested is by means of studs. Where it is not convenient to drill and tap holes into the test piece, a clamp may be used, but great care must be taken to have the joint sufficiently rigid.

**Applications :** The instrument illustrated here was designed as a strain gage to measure stresses caused by dynamic loads. It could be used on the structural members of bridges, buildings, or ships, on railroad track, or on the



mechanical parts of locomotives. Readings could be obtained from an indicating meter, a recording meter, or an oscillograph, depending on the rapidity of the stress changes. Fig. 4 shows records of the stress on both sides of the base of a 130 lb. railroad rail caused by the approach and passage of a 2-8-2 locomotive.

The same principle can also be applied to accelerometers, dynamometers, automatic load regulators, inspection micrometers, position indicators, or torsimeters, just to mention a few of its untold possibilities.

#### REFERENCES

1. "A Magnetic Strain Gage", by J. Paul Shamberger. Proc. of A. S. T. M., vol. 30 (1930). Part II, page 1044.
2. "An Instrument for Measuring Small Displacements", by B. F. Langer. Review of Scientific Instruments, vol. 2, No. 6, June 1931.

#### Traduction.

L'instrument qui fait l'objet de la présente description a été mis au point pour être utilisé essentiellement pour l'enregistrement des efforts; toutefois, il peut être adapté à de nombreuses autres applications. Sa conception originale est due à J. G. Ritter.

##### Principe.

Le principe sur lequel repose l'appareil est mis en évidence sur la figure 1.  $U_1$  et  $U_2$  représentent des noyaux en fer feuilleté qui sont fixés d'une manière rigide sur la base de l'appareil. A représente une armature en fer feuilleté solidaire d'une glissière qui se déplace par rapport à cette base. Lorsqu'un tel mouvement se produit, l'entrefer entre A et  $U_1$  augmente, l'entrefer entre A et  $U_2$  diminue, ou bien inversement. Ceci provoque une modification de la réluctance des circuits magnétiques que constituent  $U_1$  et  $U_2$  et par suite une variation de l'impédance des deux bobines qui sont enroulées sur ces circuits. Les bobines qui sont montées sur  $U_1$  et  $U_2$  forment, avec les résistances  $R_1$  et  $R_2$ , un pont de Wheatstone. Lorsqu'il y a perturbation de l'équilibre, un courant passe dans l'appareil de mesure.

##### Appareil de mesure.

Le choix de l'appareil de mesure dépend de la nature des essais à effectuer. On emploie la jauge magnétique pour la détermination des efforts dans la plupart des cas où la grandeur à mesurer accuse des variations rapides. En pareil cas, il faut adopter un oscillographe. Cet oscillographe doit être considérablement amorti, ou alimenté par l'intermédiaire d'un filtre, afin d'éviter les oscillations à haute fréquence.

Lorsqu'il s'agit d'efforts statiques ou à faible fréquence, on peut remplacer l'oscillographe par un appareil de mesure enregistreur. Pour des variations allant jusqu'à un cycle par seconde, il est possible d'utiliser un ampèremètre enregistreur à plume, travaillant sur un cylindre de papier.

### Sensibilité.

Il est possible de déceler des mouvements ne dépassant pas  $2,5/10000$  de millimètre. La sensibilité varie d'ailleurs directement avec la tension employée et inversement avec la largeur de l'entrefer total.

La jauge magnétique est étalonnée sur un dispositif de réglage différentiel par vis qui la dilate ou la contracte dans des proportions très faibles. L'importance de cette modification est indiquée par un cadran de comparaison. La figure 2 donne deux courbes d'étalonnage correspondant au même appareil. Il est à remarquer que lorsque l'entrefer est large, la courbe d'étalonnage cesse d'être rectiligne pour s'incurver à son extrémité. Cette incurvation est de plus en plus accusée lorsque la grandeur de l'entrefer augmente, ce qui fait que l'emploi de l'appareil devient difficile lorsque les mouvements à mesurer sont supérieurs à environ 0,75 mm.

La fréquence du courant d'alimentation n'exerce pas une influence directe sur la sensibilité de l'appareil tant que la tension est maintenue constante, mais une augmentation de fréquence permet d'employer une tension plus élevée sans danger d'échauffement exagéré. Dans la plupart des essais qui ont été effectués jusqu'à maintenant, on a adopté des fréquences de 500 à 750 cycles

### Caractéristiques mécaniques.

La figure 3 représente une jauge magnétique utilisée pour les mesures d'efforts sur des rails. Sa longueur entre pointes de jauge est de 101,6 mm. L'armature et les noyaux en fer à cheval sont montés dans des cylindres qui glissent l'un dans l'autre, ce qui assure pour les mouvements un excellent guidage. Il est possible d'effectuer de légères modifications de réglage dans la longueur de jauge de l'appareil sans apporter de perturbations dans son étalonnage. Ceci permet de déplacer la jauge d'un point à un autre sans avoir à refaire l'étalonnage. Des jauges magnétiques semblables ont été construites dans des longueurs variant de 70 mm à 203 mm. et il serait possible de réaliser toute longueur de jauge au-dessus d'un pouce.

Le meilleur procédé pour fixer la jauge sur l'objet à étudier consiste à employer des goujons. Lorsqu'il n'est pas possible de percer la pièce à essayer, on peut avoir recours à une pince, mais il faut alors veiller à ce que la fixation soit suffisamment rigide.

### Applications.

L'appareil qui vient d'être décrit a été conçu pour servir de jauge pour mesurer les efforts mis en jeu par des charges dynamiques. Il pourrait être employé sur des éléments de ponts, d'immeubles, de navires, de voies de chemin de fer, de locomotives. Les lectures peuvent être effectuées sur un appareil de mesure non enregistreur, sur un appareil enregistreur ou sur un oscillographe suivant la rapidité avec laquelle varient les efforts. On verra sur la figure un enregistrement, sur les deux côtés du patin d'un rail de 65 kg., des efforts mis en jeu par l'approche et le passage d'une locomotive 2-8-2.

Le même principe peut également être appliqué à des appareils de mesure

d'accélération, dynamomètres, régulateurs automatiques de charge, micromètres de contrôle, indicateurs de position, torsiomètres, pour ne citer que quelques exemples de ses nombreuses possibilités.

Dr. phil. W. SPÄTH,  
Barmen.

Unmittelbar nach der ersten öffentlichen Vorführung einer Schwingungsprüfmaschine gelegentlich des Internationalen Kongresses in Wien im Jahre 1928 durch das Losenhausenwerk Düsseldorf haben die interessierten Kreise die Wichtigkeit des neuen Messverfahrens erkannt. Es sind heute an einer Reihe von Forschungsstellen des In- und Auslandes Untersuchungen mit solchen Maschinen zur Klärung der verschiedensten Fragen der Technik im Gang.

Auch die weitere technische Durchbildung von Schwingungsprüfmaschinen hat in der Zwischenzeit Fortschritte gemacht, wobei eine Anzahl schwieriger Fragen mechanischer und elektrischer Probleme zu lösen waren. An Hand einzelner Ausführungsbeispiele sei die Entwicklung gekennzeichnet<sup>1</sup>.

#### 1. — Universal-Schwingungsprüfmaschine für Brückenuntersuchungen.

Diese Maschine, Fig. 1., dient zum Studium der dynamischen Eigenschaften von Brücken und besonders auch zur Ausführung von Terminmessungen zwecks

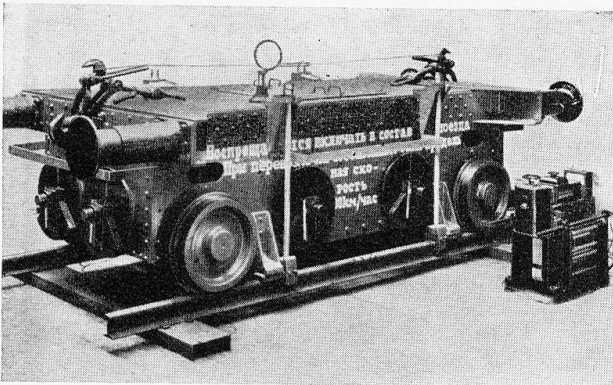


Fig. 1. — Machine mobile d'essai dynamique pour l'étude des ponts de chemin de fer. Efforts et moments suivant trois directions perpendiculaires entre elles. Force de mise en oscillation jusqu'à 5.000 kg., fréquence jusqu'à 15 Hz.

Fahrbare Schwingungsprüfmaschine zur Untersuchung von Eisenbahnbrücken. Kräfte und Momente in drei aufeinander senkrechten Richtungen. Erregerkräfte bis 5.000 kg. Frequenz bis 15 Hz.

Portable vibration testing machine for tests on railway bridges. Forces and moments in three directions at right angles to each other. Maximum exciting impulse 5.000 kg. Frequency up to 15 hertz.

Kontrolle des Bauzustandes einer Brücke. Die Maschine ermöglicht die Ausübung von periodischen Kräften und Momenten in drei aufeinander senkrechten Richtungen.

#### 2. — Schwingungsprüfmaschine für grosse Belastungen.

Die in Abb. 2 dargestellte Maschine ermöglicht die Ausübung periodischer Kräfte von solcher Grösse, dass Ermüdungsversuche bis zum Bruch an grösse-

1. Die Schwingungsprüfmaschinen werden von der Prüfmaschinenfabrik Losenhausenwerk Düsseldorf hergestellt.



ren Konstruktionen durchgeführt werden können. Es ist deshalb mit dieser Maschine die Möglichkeit gegeben, alle massgeblichen Faktoren systematisch

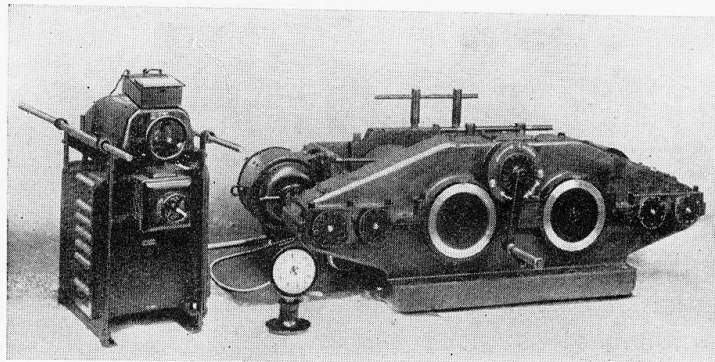


Fig. 2. — Machine d'essai dynamique, pour essais de fatigue poussés jusqu'à la rupture sur superstructures de voies de chemin de fer, etc. Force de mise en oscillation jusqu'à 10.000 kg. fréquence jusqu'à 12 Hz.

Schwingungsprüfmaschine zur Ausübung von Dauerversuchen bis zum Bruch an Brückenüberbauten etc. Erregerkräfte bis 10.000 kg. Frequenz bis 12 Hz.

Vibration testing machine for making continuous tests to rupture on bridge superstructures, etc. Maximum exciting impulse 10.000 kg. Frequency up to 12 hertz.

zu untersuchen, z. B. Werkstofffragen, Kraftfluss, Vorgänge in den Knotenstellen (Nietung oder Schweissung) u.s.w. Ebenso können auch Abnahmeversuche bei der Indienststellung einer Brücke durchgeführt werden.

### 3. — Grosse Schwingungsprüfmaschine.

Die Bedeutung, die heute den dynamischen Messungen mit Hilfe von Schwingungsprüfmaschinen beigemessen wird, kann am besten durch die Wiedergabe

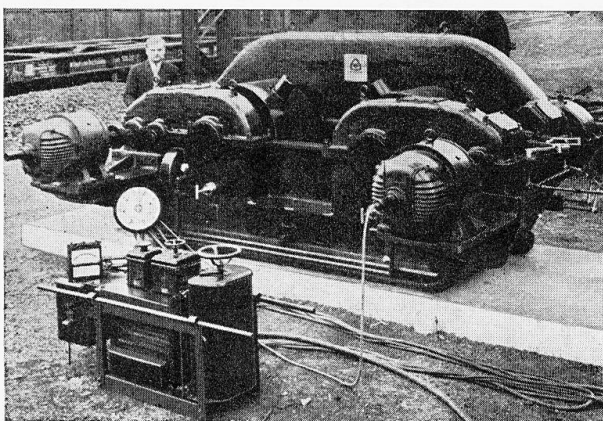


Fig. 3. — Machine d'essai dynamique à grande puissance, pour essais de navires. Force de mise en oscillation jusqu'à 20.000 kg. à partir de 2 Hz.

Grosse Schwingungsprüfmaschine zur Untersuchung von Schiffen, Erregerkräfte bis 20.000 kg. von 2 Hz ab.

Large vibration testing machine for tests on ships. Maximum exciting impulse 20.000 kg. Frequency from 2 hertz on.

der folgenden Maschine Abb. 3 charakterisiert werden. Diese Maschine dient ebenfalls zur Untersuchung des dynamischen Verhaltens von grossen Konstruktionsverbänden insbesondere zur Untersuchung der elastischen Verformungen von Schiffen.



#### 4. — Zerlegbare Schwingungsprüfmaschine.

Diese Maschine Abb. 4, ist so konstruiert, dass sie auch bei niedrigen Umdrehungszahlen noch verhältnismässig hohe Zentrifugalkräfte abgibt, andererseits aber auch bis zu sehr hohen Umdrehungszahlen gebracht werden kann. Um trotz dieser grossen Leistungsfähigkeit die Maschine leicht transportabel zu halten, kann sie in zwei Teile zerlegt werden, indem die auf einer besonderen Platte montierten Motore abgezogen werden können.

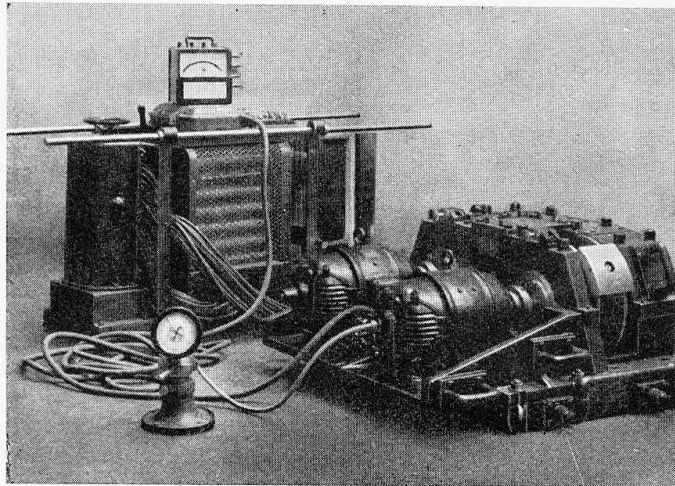


Fig. 4. — Machine d'essai dynamique démontable, pour l'étude d'éléments de navires, de planchers, tours, gratte-ciel, etc. Force de mise en oscillation jusqu'à 2.000 kg., fréquence jusqu'à 60 hz.

Zerlegbare Schwingungsprüfmaschine zur Untersuchung von Schiffsteilen, Decks, Türmen, Wolkenkratzern etc. Erregerkräfte bis 2.000 kg., Frequenz bis 60 Hz.

Vibration testing machine for tests on parts of ships, decks, towers, sky-scrapers, etc. Maximum exciting impulse 2.000 kg. Frequency up to 60 hertz.

Die Maschine dient zur Untersuchung von Schiffen, Fundamenten, Masten, Türmen, Wolkenkratzern etc.

#### 5. — Kleiner Universal-Schwinger.

Da die Zentrifugalkraft dieser Schwingungsprüfmaschinen mit dem Quadrat der Umdrehungszahl zunimmt, können kleine, aber schnelllaufende Maschinen unerwartet grosse Kräfte hergeben. Da die Eigenfrequenzen der in Beton- und Eisenbeton ausgeführten Baukonstruktionen andererseits verhältnismässig hoch liegen, so können die vielseitigen Fragen dieser Bauweisen durch verhältnismässig kleine Prüfeinrichtungen untersucht werden. Gerade hier dürfte durch Schwingungsuntersuchungen noch mancher Erfolg zu erhoffen sein.

Eine solche kleine Maschine ist in Abb. 5 zu sehen. Um eine Vorstellung von der Leistungsfähigkeit dieser kleinen schnelllaufenden Maschinen zu geben, sei erwähnt, dass es ohne weiteres gelingt, im Dauerversuch eine Eisenbahnschiene zum Bruch zu bringen.

Da an derartige Schwinger bezüglich ihrer Arbeitsweise sehr grosse Anforderungen gestellt werden, insbesondere leichte Regelbarkeit von den tiefsten

bis zu den höchsten Tourenzahlen und Unabhängigkeit der eingestellten Tourenzahl von Leerlauf bis Vollast, ist der in Abb. 5 dargestellte Schwinger mit einem Leonardaggregat ausgerüstet, das im Vordergrund zu sehen ist.

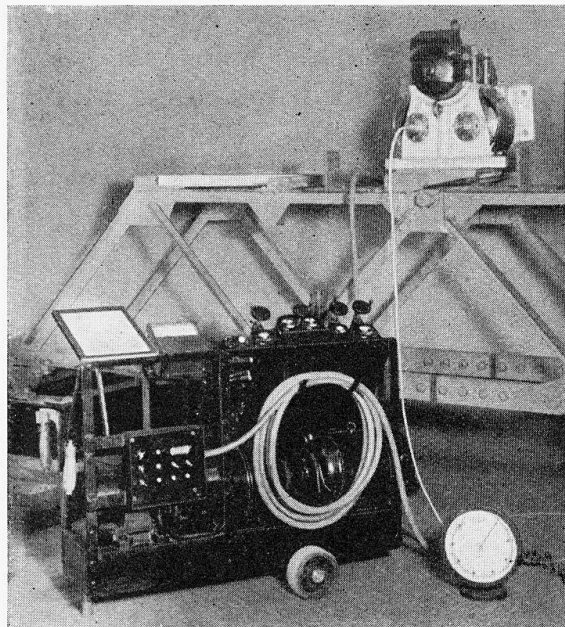


Fig. 5. — Petit oscillateur universel, pour l'étude d'éléments de construction rigides, ainsi que d'ouvrages en béton et en béton armé. Force de mise en oscillation jusqu'à 1.000 kg., fréquence jusqu'à 60 hz, réglage par groupe Léonard.

Kleiner Universal-Schwinger, zur Untersuchung, steifer Einzelkonstruktionen, besonders auch von Beton- und Eisenbetonkonstruktionen, Erregerkräfte bis 1.000 kg., Frequenz bis 60 Hz. Regelung durch Leonardaggregat.

Small universal vibrator for testing stiff constructional parts, especially also concrete and reinforced concrete structures. Maximum exciting impulse 1.000 kg. Frequency up to 60 hertz. Regulation by Leonard set.

Ueber weitere wichtige Anwendungsgebiete solcher Schwingungsprüfmaschinen und entsprechend ausgebildete Maschinen soll in der Sitzung VII b berichtet werden.

### Traduction

La première présentation officielle d'une machine pour l'essai de mise en oscillation, à l'occasion du Congrès International de Vienne de 1928, et par les soins de Losenhausenwerk, de Dusseldorf, a eu pour conséquence immédiate de révéler aux milieux spécialisés intéressés toute l'importance et tout l'intérêt de la nouvelle méthode de mesure. Des recherches sont actuellement en cours, en plusieurs endroits, tant en Allemagne qu'à l'Étranger, et avec des machines semblables, en vue de résoudre les différents problèmes que pose la dynamique des ouvrages.

La conception de ces machines pour essais d'oscillation a d'ailleurs, depuis lors, marqué des progrès, ce qui a permis de résoudre un certain nombre de problèmes d'ordre mécanique et électrique assez délicats. Je me propose de traduire cette évolution par quelques exemples concrets <sup>1</sup>.

1. — Machine universelle d'oscillation pour l'essai dynamique des ponts.

Cette machine (fig. 1) est utilisée pour l'étude du comportement dynamique des ponts et tout particulièrement également pour l'exécution de mesures en

1. Les machines pour l'essai d'oscillation sont construites par la firme Losenhausenwerk, Constructeur d'appareils d'essais, à Dusseldorf.

vue du contrôle périodique de l'état effectif de ces ouvrages. La machine permet de mettre en jeu des efforts et des moments périodiques, s'exerçant suivant trois directions perpendiculaires les unes aux autres.

## 2. — Machine d'essai dynamique pour fortes charges.

La machine que représente la figure 2 permet d'exercer des efforts périodiques considérables, grâce auxquels on peut poursuivre jusqu'à la rupture les essais de fatigue des gros ouvrages. Elle offre donc la possibilité de faire porter les recherches, d'une manière systématique, sur tous les facteurs principaux, tels que les matériaux eux-mêmes, la direction des efforts, les procédés d'assemblage (rivure ou soudure), etc... Elle permet également de procéder aux essais de réception à la mise en service d'un pont.

## 3. — Machine d'essai dynamique à grande puissance.

La machine que représente la figure 3 permet de se rendre compte de l'importance que prend aujourd'hui le contrôle dynamique à l'aide des machines d'oscillation. Cette machine est utilisée également pour l'étude du comportement dynamique des gros ouvrages et en particulier pour l'étude des déformations élastiques des navires.

## 4. — Machine démontable pour essais dynamiques.

Cette machine (fig. 4) est conçue de telle sorte que même pour une vitesse de rotation faible, on obtienne encore des efforts centrifuges relativement élevés, ce qui n'empêche pas, d'ailleurs, de pouvoir adopter des vitesses de rotation très élevées. Pour rendre la machine facilement transportable, malgré sa puissance élevée, elle a été réalisée en deux parties, les moteurs, montés sur un socle spécial, pouvant être démontés.

La machine sert aux essais de navires, de fondations, pylônes, tours, gratte-ciel, etc...

## 5. — Petit oscillateur universel.

Dans ces machines d'essai dynamique, l'effort centrifuge varie comme le carré de la vitesse de rotation; il en résulte que des machines relativement petites, mais tournant à une vitesse de rotation élevée, sont susceptibles de développer des efforts absolument inattendus. La fréquence propre des ouvrages en béton et en béton armé est par ailleurs relativement élevée; on peut donc étudier au moyen de dispositifs d'essai relativement peu importants les problèmes multiples que posent de tels ouvrages. Il est à supposer que les essais d'oscillation pourront donner là des résultats très intéressants.

La figure 5 représente une machine conçue dans cet esprit. Pour montrer quelle puissance cette petite machine, qui tourne à une vitesse de rotation élevée, est susceptible de développer, il suffira d'indiquer qu'elle peut, à elle seule, provoquer la rupture des rails d'une voie de chemin de fer par fatigue.



Étant donné l'étendue de ses applications, un tel oscillateur doit répondre à des exigences très larges : facilité de réglage depuis les vitesses de rotation les plus faibles jusqu'aux vitesses les plus élevées, indépendance des vitesses de réglage par rapport aux différents régimes depuis la pleine charge jusqu'à la marche à vide ; c'est pourquoi l'oscillateur que représente la figure 5 est équipé avec groupe Léonard, visible au premier plan.

Au cours de la Séance VII *b* seront exposées d'autres possibilités intéressantes qu'offrent ces machines d'essai dynamique, ainsi que les machines spécialement conçues à cet effet.

### Zusammenfassung.

Die vielseitigen Anwendungen, die Schwingungsprüfmaschinen in der dynamischen Prüftechnik gefunden haben, machten die Ausbildung entsprechender Modelle notwendig. Es werden einige Maschinen beschrieben, die zur Untersuchung von Brücken, Schiffen, Decks, Fundamenten, Türmen, Masten, Wolkenkratzern, Beton- und Eisenbetonkonstruktionen in Frage kommen.

### Résumé.

Les applications multiples auxquelles se prêtent les machines d'essai dynamique dans la pratique du contrôle dynamique, ont conduit à concevoir différents types. L'auteur en décrit quelques-uns, que l'on emploie pour l'étude dynamique des ponts, des navires, des planchers, des fondations, tours, pylônes, gratte-ciel, ouvrages en béton et en béton armé.

### Summary.

The multiplicity of applications which has been found for vibration testing machines in the science of dynamic testing makes it necessary to design suitable types. Some machines are described which come into question for tests on bridges, ships, decks, foundations, towers, masts, sky-scrapers, and concrete and reinforced concrete structures.

Dr. Gg. REUTLINGER,

Privatdozent an der Technischen Hochschule, Darmstadt.

Die meisten Bauwerke können dynamisch aufgefasst werden als Balken oder Balkensysteme, die Schwingungen ausführen. (Vergl. Abhandlungen Bd. I., S. 387-410, 1932.) Diese Bauwerke führen entweder freie Schwingungen aus, wenn sie angestossen und sich dann selbst überlassen werden, oder sie führen erzwungene Schwingungen aus, wenn die Erregung nach bestimmten Gesetzen erfolgt. Die Eigenschwingungszahl ist dann ein Mass für die Festigkeit des Bauwerkes ; je höher die Eigenschwingungszahl eines Bauwerkes, umso grösser ist die Festigkeit. Die Dämpfung, d. h. die Abnahme der Schwingungsweite eines frei ausschwingenden Systems, infolge innerer



Reibung gestattet Rückschlüsse auf die innere Struktur des Bauwerkes. Ein Turm aus Eisenbeton wird eine geringe innere Reibung, also eine schwache Dämpfung zeigen, jedoch wird die Dämpfung sehr erheblich sein, wenn das Bauwerk Risse enthält, längs deren bei Bewegungen Reibungskräfte auftreten. Die Form der elastischen Linie ermöglicht die Nachprüfung der Dimensionierung des Bauwerkes und seines baulichen Zustandes. Bei richtiger Verminderung der Trägheitsmomente der Einzelquerschnitte mit der Höhe und ausreichender Fundamentierung muss die Linie der Maximalauslenkungen infolge von Schwingungen eine stetig gekrümmte Kurve sein, deren Tangente an der Einspannstelle mit der Turmnormalen zusammenfällt. Knickstellen in dieser Kurve deuten auf Risse im Bauwerk, ein Abweichen der Tangente von der Normalen am Erdboden auf ungenügende Fundamentierung hin. (Vergl. Bild 1.)

Zur Aufnahme der dynamischen Bestimmungsstücke können verschiedene Methoden und Instrumente Anwendung finden.

Die Methode der freien Schwingung, beruhend auf dem Anstossen des Bauwerkes durch auffallende Massen oder durch plötzliches Entlasten des vorgespannten Bauwerkes, findet nur noch vereinzelt Anwendung. Die hierbei auftretenden freien Schwingungen können durch Schwingungs- oder Spannungsmesser aufgezeichnet werden. Aus den Abklingungskurven sind die Eigenschwingungszahl und die Dämpfung zu entnehmen. Weder die Konstruktion der elastischen Linie noch die Aufstellung einer Energiebilanz der Schwingungsenergie ist möglich.

Die Methode der erzwungenen Schwingungen, die heute fast ausschliesslich Anwendung findet, verwendet periodische, meist sinusförmige Erregungskräfte. Die Wuchtkräfte geläuteter Glocken oder umlaufender Maschinen sind entweder schon natürliche Erregerkräfte, oder es werden durch sogenannte Rotore oder Oszillatoren künstlich sinoidale Kräfte eingeführt. Die Messung der maximalen Schwingungsweiten, bzw. der Maximalspannungen als Funktion der Schwingungsfrequenz erfolgt mittelst Schwingungs- bzw. Spannungsmessern. Aus den aufgestellten Resonanzkurven kann die Eigenschwingungszahl und die Dämpfung abgeleitet werden. (Vergl. Abhandl. Bd. I., Seite 397.)

Die Aufstellung einer Energie-Resonanzkurve durch Aufzeichnung der in der Erregermaschine aufgenommenen elektr. Energie als Funktion der Erregerfrequenz zeigt bei schwach gedämpften Bauwerken keine grosse Genauigkeit. Wesentlich genauer ist das Ergebnis der dynamischen Untersuchung, wenn mittels Schwingungsmessern in verschiedenen Höhen des Bauwerkes Resonanzkurven aufgenommen, die zugehörigen Eigenschwingungszahlen,

*Wasser- u. Aussichtsturm in Babenhausen*

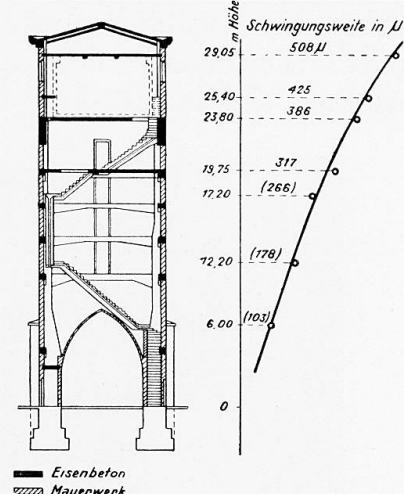


Fig. 1. — Château d'eau-Observatoire à Babenhausen — Wasser- u. Aussichtsturm in Babenhausen — Water tower and belvedere in Babenhausen.

Hauteur — Höhe — Height.  
 Amplitudes des oscillations en μ.  
 Schwingungsweite in μ. — Amplitudes of oscillation in μ.  
 Béton armé — Eisenbeton — Reinforced concrete.  
 Maçonnerie — Mauerwerk — Masonry.

Maximal-Schwingungsweiten und die Dämpfung aus diesen ermittelt werden. Aus den Maximalschwingungsweiten für die einzelnen Höhen lässt sich die elastische Linie zeichnen; aus dem Vergleich der Dämpfung an den einzelnen Messtellen können Schlüsse auf den Bauzustand des Bauwerkes gezogen werden, die eine Kontrolle für etwaige Störungen in dem Verlauf der elastischen Linie darstellen. Die von dem Erreger in das Bauwerk eingeführte Schwingungsenergie kann aus Unwucht und Umlaufgeschwindigkeit errechnet, aus den Angaben der Schwingungsmesser kann der Energiefluss durch das ganze Bauwerk verfolgt werden. Die Aufstellung einer Energiebilanz ist also durchführbar. Das Auffinden irgend welcher Unregelmässigkeiten ist durch gleichzeitige Verwertung der verschiedenen dynamischen Bestimmungsstücke unbedingt sicher gestellt.

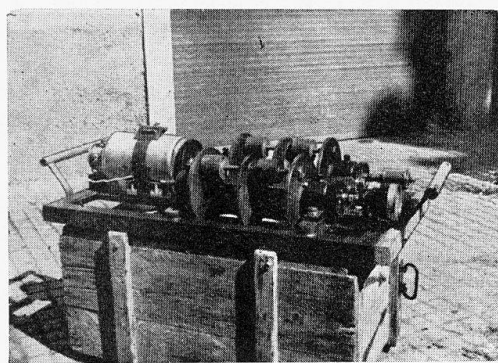


Fig. 2.

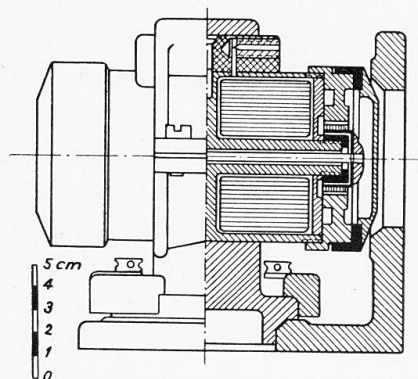


Fig. 3.

Fig. 2. — Rotor pour mise en oscillation des ouvrages — Rotor zur Erregung von Bauwerkschwingungen — Rotor for causing vibrations in structures.

Fig. 3. — Coupe de l'appareil universel du Dr. Reutlinger à mesurer les oscillations — Schnittzeichnung v. Universal-Schwingungsmesser nach Pd. Dr. Reutlinger — Cross-section of the Dr. Reutlinger Universal-Vibrometer.

Die Auswahl der Messgeräte ist von grösster Bedeutung für den Erfolg der Messung.

Der Schwingungserreger (Rotor-Oszillator) muss vollkommen starr mit dem zu untersuchenden Bauwerk verbunden sein, es genügt nicht, die Erregermaschine auf das Bauwerk aufzusetzen, sondern sie muss mit demselben entweder verschraubt werden, oder es ist durch Auflegen von Gewichten eine Ablösung von der Unterlage zu verhindern. Die Wuchtmassen, die Exzentrizität und die Umlaufgeschwindigkeit müssen genau bekannt sein, weil hieraus die eingeführte mech. Schwingungsenergie errechnet wird.

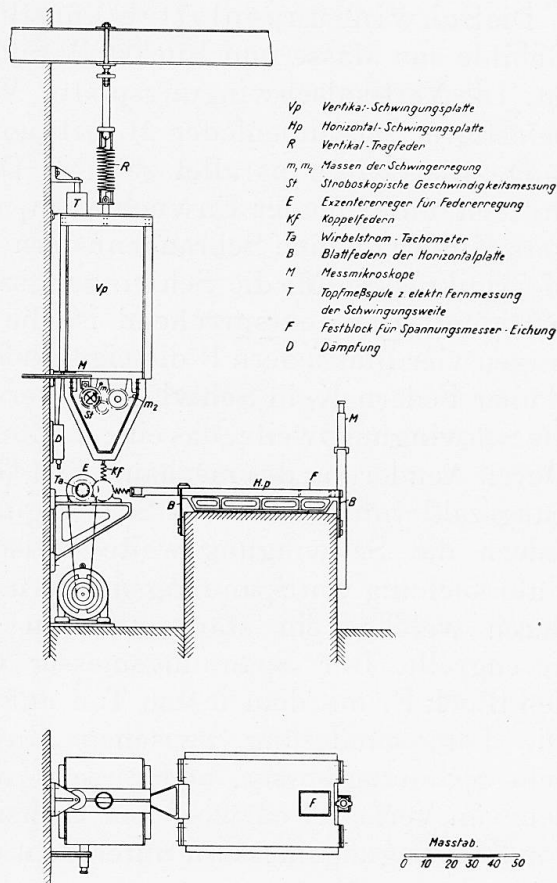
Zur Anregung von grösseren Bauwerken verwendet der Referent einen Rotor mit zweigegeneinander umlaufenden Trommelsystemen, die auswechselbare Unwuchtmassen enthalten. Durch entsprechende Auswahl und Orientierung der Massen zu einander werden die Grösse und Richtung der Zugkräfte festgelegt. (Bild 2.) Zur Anregung von Bauwerksteilen findet ein kleiner Universal-Rotor Anwendung. (Vergl. Abhandl. Bd. I., S. 401.)

Als Schwingungsanzeiger (Schwingungsmesser oder Spannungsmesser) verwendet der Referent elektrisch übertragende Geräte, die neben Fernübertragung auch beliebige Vergrösserung durch Röhrenverstärkung ermöglichen.

Der innere Aufbau dieser Schwingungsmesser ist aus Bild 3 ersichtlich. In einem ringförmigen Felde eines Topfmagneten schwingt eine Spule, in welcher Induktionsströme entstehen, die proportional der achsialen Geschwindigkeit sind. Für die Auswertung auf Schwingungsweiten ist das ohne Belang, jedoch ergibt gerade die Schwingungsgeschwindigkeit und die Geschwindigkeit der Spannungsänderung, wie sie mit den Spannungsmessern des Referenten gemessen werden, interessante Einblicke in die Zerstörungsarbeit der technischen Erschütterungen. Die entstehenden Induktionsströme werden entweder

Fig. 4.

- $V_p$  plaque d'oscillation verticale — Vertikal-Schwingungsplatte — Vertical vibration plate.  
 $H_p$  plaque d'oscillation horizontale — Horizontal-Schwingungsplatte — Horizontal vibration plate.  
 $R$  ressort vertical de suspension — Vertikal-Tragfeder — Vertical supporting spring.  
 $m_1 m_2$  masses d'excitation — Massen der Schwing-erregung — Masses causing vibration.  
 $St$  Indicateur de vitesse stroboscopique — Stro-boskopische Geschwindigkeitsmessung — Stro-boscopic speed measuring.  
 $E$  excitateur excentrique pour excitation du res-sort — Exzentererregger für Federerregung — Eccentric exciter for spring excitation.  
 $K_f$  ressorts d'accouplement — Koppelfedern — Coupling springs.  
 $T_a$  tachymètre à courants de Foucault — Wirbel-strom-Tachometer — Eddy-current tachometer.  
 $B$  ressorts à lame de la plaque horizontale — Blattfedern der Horizontalplatte — Leaf springs of horizontal plate.  
 $M$  microscope de mesure — Messmikroskope — Measuring microscope.  
 $T$  aimant concentrique pour la mesure des ampli-tudes d'oscillation — Topfmesspule z. elektr. Fernmessung der Schwingungsweite — Cylin-der measuring spool for electric remote measur-ing of vibration amplitudes.  
 $F$  appui fixe pour l'étalonnage des appareils de mesure d'efforts — Festblock für Spannungsmesser-Eichung — Rigid block for calibrating stress measurer.  
 $D$  dispositif d'amortissement — Dämpfung — Damping.



mit einem Wechselstrom-Milliampèremeter (Gossen & Co. Erlangen) direkt abgelesen, oder mit einem Oszillographen aufgezeichnet.

Um auch Schwingungsbewegung geringer Grösse aufnehmen zu können wurde ein frequenzunabhängiger Zweiröhren-Verstärker entwickelt, der in sich zugleich eine halbautomatische Eich- und Shunteinrichtung enthält, um die Verstärkungsziffer sowohl eichen und ändern zu können. Das miteinge-baute Wechselstrom-Milliampèremeter ist über eine Eichkurve in Schwingungsweite geeicht. Durch einfache Umschaltung kann ein Oszillograph an den Verstärker angeschaltet werden.

Die Untersuchung der Schwingungsmessgeräte und ihre Eichung erfolgt auf einer Schwingungsplatte. Es hat sich bei der Untersuchung zahlreicher Schwingungsmesser gezeigt, dass nur die dynamische Eichung brauchbare Werte ergibt. Schwingungsmesser mit mechanischer Aufzeichnung



sollten nicht stärker als 30 fach, solche mit optischer Aufzeichnung höchstens 200 fach vergrössern. Bei stärkeren Vergrösserungen ist die elektrisch-optische Aufzeichnung eventl. unter Zuhilfenahme von Röhrenverstärkern zu verwenden. Hierbei werden die mechanischen Schwingungen in Wechselströme umgewandelt, die entweder unmittelbar oder über Röhrenverstärker dem elektrischen Messgerät zugeführt werden. Durch elektrische Hilfsmittel lässt sich auf einfache Weise die Empfindlichkeit ändern. Besonders wichtig ist aber die Möglichkeit der Fernbeobachtung mehrerer Messtellen an einer Stelle und auf einer einzigen Aufzeichnung.

Die Schwingungsplatten (künstliche Fundamente) sind schwingungsfähige Gebilde aus Masse und Rückstellkraft, deren Aufbau aus Bild 4 zu erkennen ist. Die Vertikalschwingungsplatte V. P. wird durch eine an einem Träger befestigte Schraubenfeder R getragen und durch an der Wand befestigte kurze Blattfedern parallel geführt. Die Erregung der Schwingungen erfolgt mittelst umlaufender Unwuchten  $m_1$  u.  $m_2$  oder mittels eines Exzenter-Erregers E durch kleine Schraubenfedern  $K_f$ . Die Schwingungsweite wird mittels Messmikroskop M, die Schwingungszahl mittels eingebauten Tachometers  $T_a$  bestimmt. Ganz entsprechend ist die Horizontalplatte H. P. aufgebaut. Hier tragen vier Blattfedern B die eigentliche Platte, die von dem Exzenter-Erreger E über Federn  $K_f$  in Schwingung versetzt wird. Das Messmikroskop M misst die Schwingungsweite, das eingebaute Tachometer T die Schwingungszahl/min. Durch Aenderung des mechanischen Getriebes ist die Veränderung der Schwingungszahl von 1/2 bis 100 Schwingungen/sec, durch Aenderung der Koppelfedern die Schwingungsweite zwischen 3 und 1/1000 mm möglich. Zur Untersuchung von Spannungsmessern hat die Horizontalplatte einen Ausschnitt, durch welchen ein starr mit dem Betonblock verbundener Gussblock F durchgreift. Der Spannungsmesser wird mit seiner beweglichen Spitze auf den Block F, mit dem festen Teil auf die Schwingungsplatte H. P. aufgesetzt. Die Längenänderung zwischen Gussblok und Platte wird einerseits mit dem Spannungsmesser, andererseits mit dem Messmikroskop gemessen. Mit den vom Verfasser entworfenen Eicheinrichtungen wurden eine grosse Anzahl von Schwingungsmessern untersucht und ausserdem umfangreiche Modellversuche durchgeführt.

Literatur vergl. Abhandlungen Bd. I., S. 387-410, 1932.

### Traduction.

La plupart des ouvrages peuvent être considérés du point de vue dynamique comme des poutres ou des systèmes de poutres qui exécutent des oscillations (voir Mémoires, 1<sup>er</sup> volume, pages 387 à 410, 1932). Ces ouvrages exécutent toutefois, soit des oscillations libres lorsqu'ils sont excités puis abandonnés à eux-mêmes, soit des oscillations forcées lorsque le mode d'excitation suit des lois définies. La fréquence propre d'oscillation sert alors à mesurer la résistance de l'ouvrage; plus cette fréquence propre est élevée dans un ouvrage donné, plus grande est la résistance de cet ouvrage. L'amortissement c'est-à-dire la réduction de l'amplitude des oscillations d'un système soumis à des



oscillations libres, par suite des frottements internes, permet de faire des déductions sur la structure interne de l'ouvrage. Une tour en béton armé accuse un frottement interne faible, c'est-à-dire un faible amortissement; toutefois, lorsque l'ouvrage renferme des fissures, l'amortissement est notablement plus fort, car des efforts de frottement se manifestent le long de ces fissures. La forme de la ligne élastique permet de contrôler les dimensions données à l'ouvrage et son état effectif. En réduisant judicieusement les moments d'inertie des différentes sections avec leur hauteur et avec des fondations suffisantes, on doit obtenir, pour la courbe des déformations maxima sous l'influence des oscillations, une courbe régulièrement incurvée, dont la tangente au point d'encastrement coïncide avec la normale à la tour. Les coudes de la courbe indiquent des fissures dans l'ouvrage et la non-coïncidence entre la tangente à la courbe et la normale à la tour, au sol, révèle l'insuffisance des fondations (voir fig. 1).

Le relevé des caractéristiques dynamiques peut être effectué au moyen de différentes méthodes et appareils.

La méthode de l'oscillation libre repose sur l'excitation de l'ouvrage au moyen des masses tombantes ou par décharge brusque de cet ouvrage préalablement soumis à une contrainte; elle est assez peu employée. Les oscillations ainsi provoquées peuvent être mises en évidence au moyen d'appareils de mesure des oscillations ou des tensions. A partir des courbes d'amplitude décroissante obtenues, on détermine la fréquence propre et l'amortissement. Il n'est toutefois possible ni de construire la ligne élastique, ni de dresser le bilan de l'énergie oscillatoire.

La méthode des oscillations forcées fait appel à des efforts d'excitation périodiques, la plupart du temps de forme sinusoïdale; elle est employée presque exclusivement actuellement. On peut déjà utiliser comme efforts d'excitation naturels les efforts mis en jeu par les cloches d'un monument, par exemple, ou par des machines tournantes; on peut également produire ces efforts au moyen d'appareils appelés « rotors » ou « oscillateurs », qui fournissent des efforts d'allure sinusoïdale. La mesure des amplitudes maxima d'oscillation ou des contraintes maxima en fonction de la fréquence des oscillations est effectuée au moyen d'appareils de mesure des oscillations ou des tensions. A partir des courbes de résonance obtenues, on peut déterminer la fréquence propre d'oscillation et l'amortissement (voir Mémoires, volume 1, page 397).

Dans les ouvrages accusant un faible amortissement, l'établissement des courbes de résonance par relevé de l'énergie électrique absorbée par la machine d'excitation en fonction de la fréquence d'excitation ne donne pas une bien grande précision. Pour obtenir, par essai dynamique, des résultats sensiblement plus précis, il convient de relever les courbes de résonance, au moyen d'appareils de mesure d'oscillations, à différents niveaux de l'ouvrage, puis de déterminer à partir de ces courbes les fréquences propres d'oscillation correspondantes, les amplitudes maxima et l'amortissement. En partant des amplitudes maxima d'oscillation pour les différents niveaux, on peut tracer la ligne élastique; en comparant les valeurs de l'amortissement aux différents points où il a été déterminé on peut obtenir des conclusions sur l'état effectif de l'ou-

vrage et contrôler ainsi les anomalies que peut présenter l'allure de la ligne élastique. L'énergie oscillatoire fournie par l'oscillateur à l'ouvrage peut être déterminée à partir des efforts simples et de la vitesse de rotation ; à partir des indications de l'appareil de mesure d'oscillation on peut déterminer l'énergie mise en jeu dans l'ensemble de l'ouvrage. On peut également établir un bilan d'énergie. Les irrégularités éventuelles mises en évidence par l'interprétation simultanée des différentes caractéristiques dynamiques ainsi déterminées peuvent ainsi être décelées à coup sûr.

Le choix des appareils de mesure présente une très grande importance pour le résultat définitif.

L'appareil de mise en oscillation (rotor-oscillateur) doit être monté d'une manière absolument rigide par rapport à l'ouvrage à étudier ; il ne suffit pas de le poser sur la construction ; il doit au contraire être boulonné sur cette construction ; à défaut, on évitera tout déplacement relatif par addition de poids convenables. Les masses en mouvement, les excentricités et les vitesses de rotation doivent être connues avec précision, car c'est de leurs valeurs que l'on déduira l'énergie oscillatoire fournie.

Pour provoquer l'oscillation d'ouvrages importants, l'auteur emploie un rotor comportant deux systèmes de disques tournant en sens opposés, et qui portent des masses interchangeable et ne mettant en jeu que des efforts simples. Par un choix et une disposition judicieuse des masses l'une par rapport à l'autre, on peut déterminer à volonté la direction et la valeur des efforts simples (fig. 2). Pour la mise en oscillation des éléments d'ouvrages, on emploie un Rotor-Universel de modèle réduit (voir Mémoires, Volume 1, page 401).

Comme indicateur d'oscillations (appareil de mesure des oscillations ou des contraintes) l'auteur emploie un appareil à transmission électrique qui permet, outre la transmission des observations à distance, leur amplification à volonté au moyen de lampes. Le montage intérieur de cet appareil de mesure d'oscillations est représenté sur la figure 3. Dans le champ annulaire produit par un aimant concentrique, oscille une bobine dans laquelle se manifestent des courants induits qui sont proportionnels à la vitesse angulaire. Ses indications ne permettent pas de déterminer l'amplitude des oscillations ; toutefois, la vitesse d'oscillation et la vitesse de modification des contraintes, telles qu'on les mesure au moyen de l'appareil de l'auteur, donnent des renseignements intéressants sur les dégradations provoqués par les trépidations. Les courants induits sont lus directement avec un milliampèremètre à courant alternatif (Gossen & Co., Erlangen), ou bien enregistrés au moyen d'un oscillographe.

Afin de pouvoir déceler les oscillations très faibles, a été mis au point un amplificateur à deux lampes à amplification indépendante de la fréquence, qui comporte également un dispositif incorporé d'étalonnage et de shuntage semi-automatique, afin de permettre l'étalonnage et la modification du coefficient d'amplification. Le milliampèremètre incorporé est étalonné par rapport à une courbe d'étalonnage graduée en amplitudes d'oscillation. Par une simple modification de couplage, on peut adjoindre un oscillographe à cet amplificateur (voir figure 4).

Le contrôle des appareils de mesure d'oscillations et leur étalonnage se font sur une table d'oscillation. L'étude de nombreux appareils a montré que seul l'étalonnage dynamique donne des valeurs utilisables en pratique. Les appareils de mesure d'oscillations comportant l'enregistrement mécanique ne doivent pas comporter une amplification supérieure à 30, cette amplification atteignant au maximum 200 avec les appareils à enregistrement optique. Pour des amplifications plus poussées, on a recours à l'enregistrement électrique-optique, éventuellement avec amplification par lampes. Dans ce dispositif, les oscillations mécaniques sont transformées en courants alternatifs, qui sont envoyés aux appareils de mesure soit directement, soit par l'intermédiaire d'amplificateurs à lampes. Au moyen d'organes électriques auxiliaires, il est facile de modifier la sensibilité du système. Ce dispositif offre en particulier la possibilité très intéressante de permettre l'observation à distance, sur plusieurs points, à partir d'un même poste et d'effectuer un enregistrement multiple unique.

Les tables d'oscillation, qui constituent des reproductions de fondations ou bâtis, sont des éléments susceptibles d'entrer en oscillations sous l'influence de la masse et d'un effort en retour; leur constitution est représentée sur la figure 5. La table d'oscillation verticale V. P. est supportée par un ressort à boudin R fixé sur une poutre; elle est guidée par des ressorts à lame de courte longueur fixés au mur. L'excitation est effectuée au moyen de masses tournantes  $m_1$  et  $m_2$  ne faisant intervenir aucune énergie cinétique ou au moyen d'un excitateur excentrique E par l'intermédiaire de petits ressorts à boudin  $K_f$ . L'amplitude des oscillations est déterminée au moyen d'un microscope de mesure M et la fréquence au moyen d'un tachymètre incorporé Ta. La table d'oscillation horizontale H. P. est conçue d'une manière analogue. Ici, quatre ressorts à lame B supportent la table elle-même, qui est mise en oscillation au moyen d'un excitateur excentrique E, sur des ressorts  $K_f$ . Le microscope de mesure M permet de mesurer l'amplitude des oscillations et le tachymètre incorporé T les nombres d'oscillations à la minute. Par modification de la commande mécanique, on peut faire varier la fréquence d'oscillation de 1/2 à 100 oscillations par seconde; par modification des ressorts d'accouplement, on peut faire varier leur amplitude entre 3 et 1/1.000 de millimètre. Pour permettre le contrôle des appareils de mesure des efforts, la table horizontale comporte une fenêtre à travers laquelle passe un bloc de fonte F, assemblé d'une manière rigide avec le socle de béton. L'appareil de mesure des efforts est placé avec sa pointe mobile sur ce bloc F et relié à la table d'oscillation avec le câble fixe. La variation de distance entre le bloc de béton et la table est mesurée d'une part avec l'appareil de mesure d'efforts, d'autre part avec le microscope. Avec le dispositif d'étalonnage mis au point par l'auteur, un grand nombre d'appareils de mesure d'oscillations ont déjà été étalonnés; ce dispositif a également permis d'effectuer des essais extrêmement fructueux sur modèles.

(Pour la bibliographie, voir Mémoires, Volume 1, pages 387 à 410, 1932).



### Zusammenfassung.

Nach einer kurzen Betrachtung der Aufgaben und Messergebnisse der dynamischen Verfahren zur Untersuchung von Bauwerken, werden die Geräte zur Ermittlung der dynamischen Bestimmungsstücke (Eigenschwingungszahl, Masse, Rückstellkraft = Festigkeit, Dämpfung = Innere Reibung, Form der elastischen Linie) behandelt. Rotore = Oszillatoren zur Erregung der erzwungenen Schwingungen, Schwingungs- und Spannungsmesser zur Messung der Schwingungsweite bzw. der, infolge der Schwingungen auftretenden zusätzlichen Spannungen werden beschrieben. Den Abschluss bildet die Betrachtung der dringend erforderlichen Untersuchungs- und Eicheinrichtung für Schwingungs- und Spannungsmesser, sowie zur Durchführung von Modellversuchen.

### Résumé.

Après un court aperçu sur les objectifs à atteindre et sur les résultats que peuvent donner les mesures, dans l'étude du comportement dynamique des ouvrages, l'auteur aborde la description des appareils utilisés pour la détermination des caractéristiques dynamiques des ouvrages (fréquence propre d'oscillation ; Masses : Effort en retour — résistance ; amortissement — frottement interne ; forme de la courbe élastique) : Rotor-oscillateur pour la production des oscillations forcées ; appareils pour la mesure des oscillations et des efforts, pour la détermination des amplitudes d'oscillation et des contraintes additionnelles mises en jeu par les oscillations. En conclusion l'auteur aborde le contrôle extrêmement nécessaire et l'étalonnage des appareils de mesure d'oscillations et d'efforts, ainsi que l'exécution des essais sur modèles.

### Summary.

After a short survey of the problems and measured results of dynamic methods of testing structures, the apparatus for determining the dynamic characteristics (natural frequency, masses, power of recovery = strength, damping = Internal friction, form of the elastic line) is spoken of : Rotors = oscillators for causing forced vibration, vibration measurers and stress measurers for measuring the amplitudes of vibrations and the additional stresses caused by the vibrations, are described. Finally the author speaks of the urgent necessity of having testing and calibrating devices for vibration and stress measurers, and also of carrying out tests on models.