

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

Band: 1 (1932)

Rubrik: Participants in the discussion of question V2

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 17.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

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 défrichement 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**,
Reichsbahnhentralamt, 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 damped, or

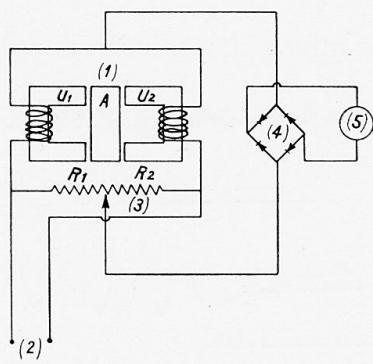


Fig. 1.

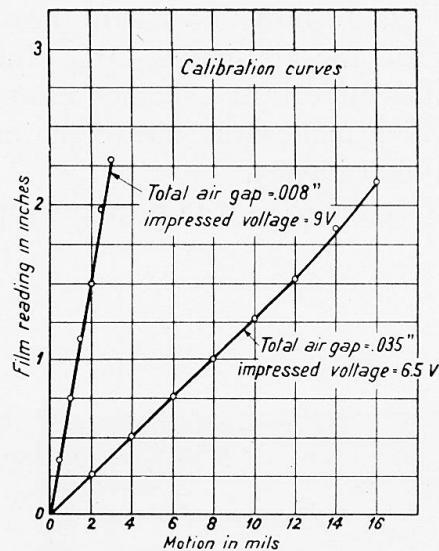


Fig. 2.

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 ∞ Wechselstrom oder Hochfrequenz-Generator und Frequenzumformer, wenn erforderlich. Der Stromverbrauch für die Messung bei 500 ∞ 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 (50Ω , 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

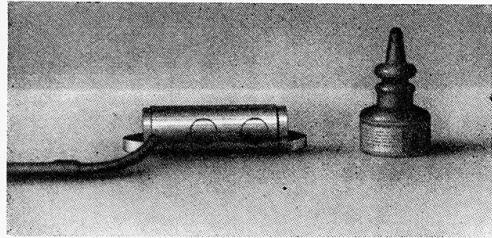


Fig. 3.

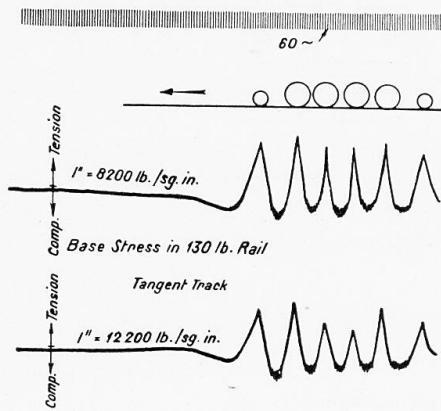


Fig. 4.

Fig. 4. — Efforts sur le patin d'un rail de 65 kg. — En haut : $1''$ (25,4 mm.) $= 5,75 \text{ kg/mm}^2$.
 En bas : $1'' = 8,5 \text{ kg/mm}^2$.
 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 torsionometers, 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 1041.
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 jauge 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'accélérations, 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 gekennzeichnet¹.

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

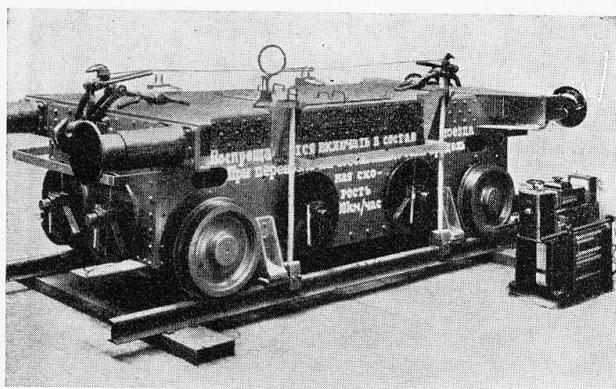


Fig. 1.— Machine mobile d'essai dynamique pour l'étude des ponts de chemin de fer. Efforts et moments suivant trois directions perpendiculaires entre elles. Force de mise en oscillation jusqu'à 5.000 kg., fréquence jusqu'à 15 Hz.

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

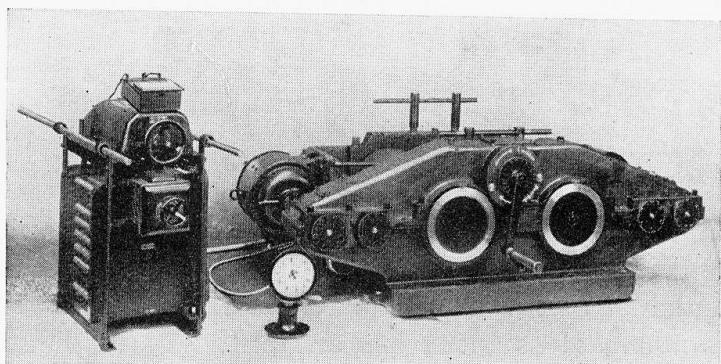


Fig. 2. — Machine d'essai dynamique, pour essais de fatigue poussés jusqu'à la rupture sur superstructures de voies de chemin de fer, etc. Force de mise en oscillation jusqu'à 10.000 kg. fréquence jusqu'à 12 Hz.

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 Abnahmeverweise 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

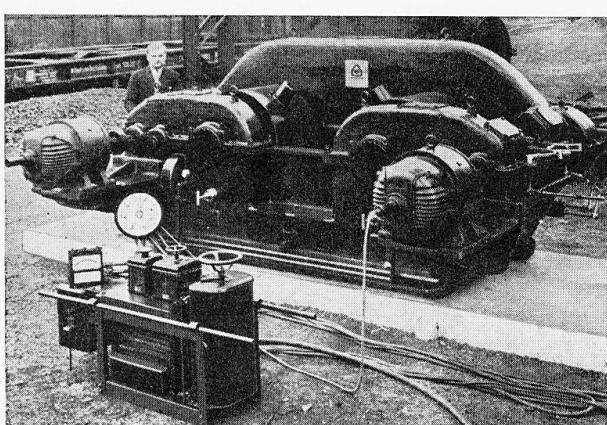


Fig. 3. — Machine d'essai dynamique à grande puissance, pour essais de navires. Force de mise en oscillation jusqu'à 20.000 kg. à partir de 2 hz.

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.

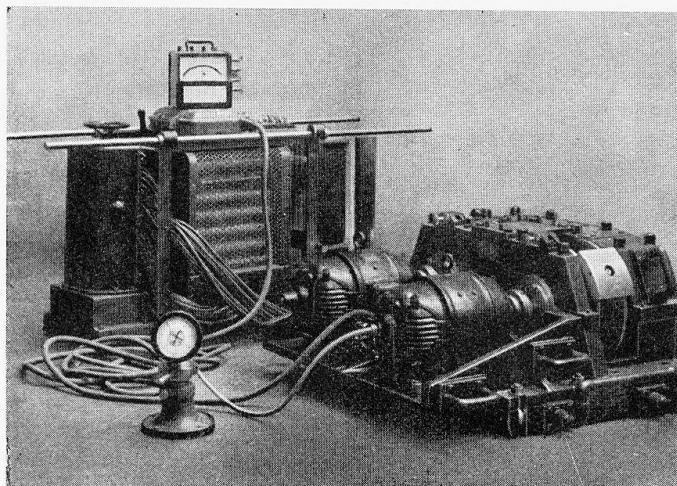


Fig. 4. — Machine d'essai dynamique démontable, pour l'étude d'éléments de navires, de planchers, tours, gratte-ciel, etc. Force de mise en oscillation jusqu'à 2.000 kg., fréquence jusqu'à 60 hz.

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 schnellaufende 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 schnellaufenden 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.

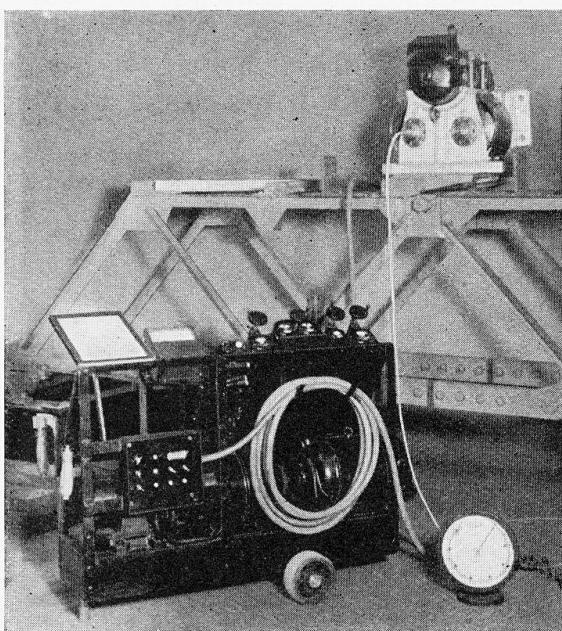


Fig. 5. — Petit oscillateur universel, pour l'étude d'éléments de construction rigides, ainsi que d'ouvrages en béton et en béton armé. Force de mise en oscillation jusqu'à 1.000 kg., fréquence jusqu'à 60 hz, réglage par groupe Léonard.

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.

Über weitere wichtige Anwendungsbereiche solcher Schwingungsschwingmaschinen und entsprechend ausgebildete Maschinen soll in der Sitzung VII 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'Etranger, 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 concrets¹.

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

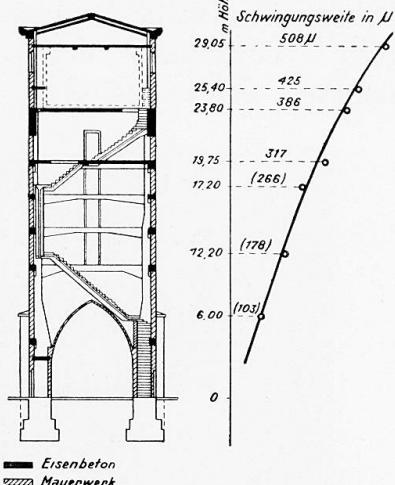


Fig. 1. — Château d'eau-Observatoire à Babenhausen — Wasser- u. Aussichtsturm in Babenhausen — Water tower and belvedere in Babenhausen.

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.

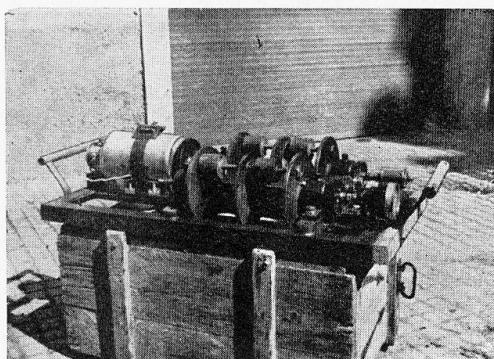


Fig. 2.

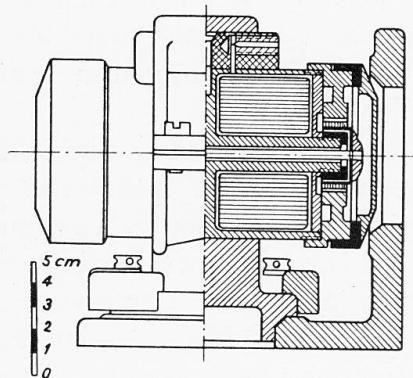


Fig. 3.

Fig. 2. — Rotor pour mise en oscillation des ouvrages — Rotor zur Erregung von Bauwerks-Schwingungen — 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 zwei gegeneinander 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

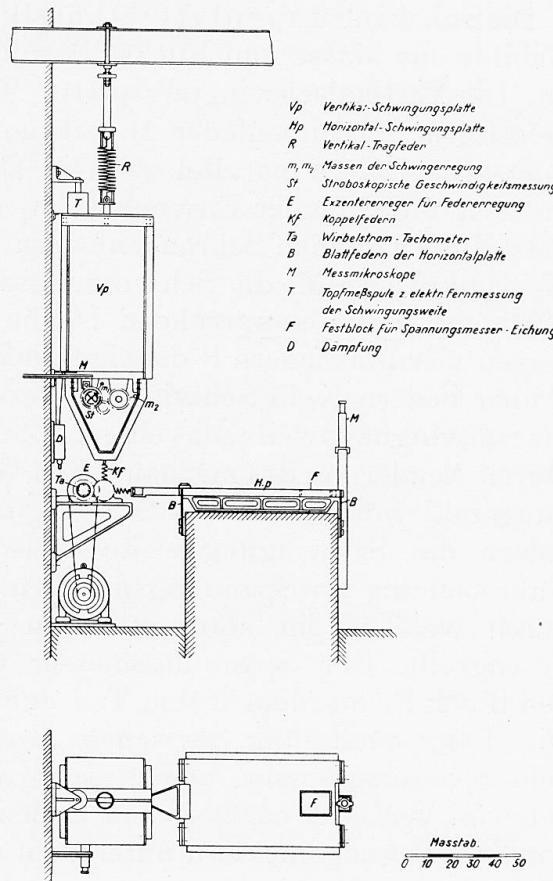
Fig. 4.

- V_p** plaque d'oscillation verticale — Vertikalschwingungsplatte — Vertical vibration plate.
H_p plaque d'oscillation horizontale — Horizontal-Schwingungsplatte — Horizontal vibration plate.
R ressort vertical de suspension — Vertikaltragfeder — Vertical supporting spring.
m₁ m₂ masses d'excitation — Massen der Schwingerregung — Masses causing vibration.
St Indicateur de vitesse stroboscopique — Stroboskopische Geschwindigkeitsmessung — Stroboscopic speed measuring.
E exciteur excentrique pour excitation du ressort — Exzentererregер für Federerregung — Eccentric exciter for spring excitation.
K_f ressorts d'accouplement — Koppelfedern — Coupling springs.
T_a tachymètre à courants de Foucault — Wirbelstrom-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 amplitudes d'oscillation — Topfmesspule z. elektr. Fernmessung der Schwingungsweite — Cylinder measuring spool for electric remote measuring 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 miteingebaute 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 Messstellen 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 Vertikalschwingungplatte 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 Änderung des mechanischen Getriebes ist die Veränderung der Schwingungszahl von 1/2 bis 100 Schwingungen/sec, durch Änderung 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 Schwingungplatte H. P. aufgesetzt. Die Längenänderung zwischen Gussblock 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^{er} 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 presqu'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'ouvrage.

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 interchangeables 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.

b) Rapports sur des mesures effectuées sur des ponts et des charpentes.

Berichte über durchgeföhrte Messungen an Bauwerken.

Reports on measurements carried out on structures.

O. SESINI,

Professeur à l'Ecole Polytechnique de Pise.

La Commission Italienne chargée de l'étude de la dynamique des ponts métalliques, dont les travaux sont encore à leurs débuts, s'est occupée jusqu'ici d'étudier et d'essayer les moyens expérimentaux les plus aptes à permettre des expériences systématiques ayant pour but de déterminer le comportement des ponts des chemins de fer italiens au passage des locomotives actuellement employées dans le réseau de l'État.

Dans ces essais, faute d'instruments suffisamment exacts et bien éprouvés au cours de mesures antérieures, et dans l'attente de ceux qui sont encore à l'étude, on s'est borné à mesurer les fléchissements des travées, à l'aide des appareils « Rabut », qui à la suite de modifications et additions opportunes, ont été mis en état de répondre d'une manière satisfaisante au but proposé.

Pour les détails de ces modifications et pour ce qui concerne l'emploi de l'instrument, de même que la vérification de l'exactitude des résultats, nous renvoyons au mémoire paru dans les « Annali dei Lavori Pubblici », 1931, No. 8.

A ce qui a été exposé dans cette note, nous n'ajouterons que ceci : l'emploi des appareils « Rabut » avec point de repère fourni par un pieu en tube d'acier, dont il est question à la fin de la note, et à laquelle on a eu fréquemment recours, a donné des résultats tout à fait satisfaisants.

Les mesures susdites ont été effectuées sur les 5 travées suivantes :

1) Pont sur l'Arno à Pise : Travée à 4 poutres à âme pleine (2 pour chaque rail), de 20,90 m. de portée ; hauteur des poutres 1 m. ; travée très flexible. La surcharge a été constituée par des locomotives électriques triphasées à 6 essieux, dont 4 couplés, avec bielles triangulaires (E. 431 et E. 432 des FF. SS.).

2) Pont sur l'Adige, près de Mezzocorona : Poutres en treillis d'une portée de 29 m. Locomotives à vapeur à 5 essieux dont 3 couplés (685).

3) Pont sur l'Aniene, près de Lunghezza : Poutres en treillis d'une portée de 39 m. Locomotives à vapeur à 5 essieux dont 3 couplés (685) et à 6 essieux dont 4 couplés (940).

4) Pont sur le Pô, près de Piacenza : Poutres en treillis. Une travée de 60 mètres.

5) Idem-idem. — Une travée de 74 m. — Locomotive à vapeur à 6 essieux, dont 3 couplés (691).

A la suite de ces expériences, on a noté pour toutes les travées, deux vitesses critiques, dont ont déjà parlé plusieurs observateurs, et qui se manifestent par des oscillations sensibles et relativement régulières.

Les oscillations correspondant à la première vitesse critique ont une fré-

quence presque égale à celle de la succession des essieux ; elles sont parfois assez faibles pour ne pas produire d'importantes augmentations des flèches maxima.

Comme on supposait que ces oscillations étaient dues aux chocs des roues

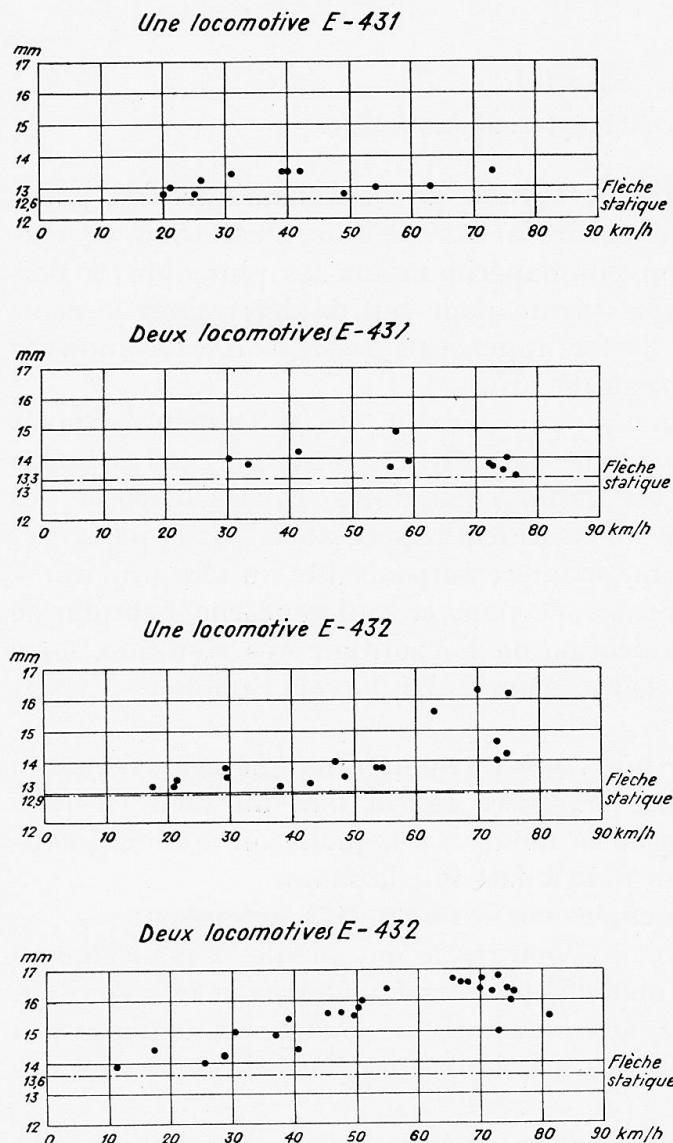


Fig. 1. — Flèche statique = Statische Durchbiegung = Static deflection.

rencient des précédentes surtout par le système des bielles.

Ces oscillations paraissent pourtant relever des mouvements anormaux bien connus des locomotives électriques et des irrégularités de la transmission du couple moteur¹.

Les graphiques de la fig. 1 donnent des flèches dynamiques maxima (ordonnées) mesurées au pont sur l'Arno, avec des locomotives électriques E. 431 et E. 432, lancées aux vitesses indiquées en abscisses.

sur les joints des rails, on a répété les essais, sur les ponts de Pise et de Lunghezza, après avoir posé des rails sans joints, plus longs que les travées. On a constaté alors que ces oscillations ne changeaient pas. Les joints des rails paraissent ne pas avoir d'influence sensible sur ces oscillations, qui dépendent probablement d'autres irrégularités de la voie.

Les oscillations correspondant à la 2^e vitesse critique sont très approximativement synchrones de la rotation des roues couplées.

Ces oscillations parfois très accentuées, sont à attribuer en partie aux forces d'inertie des masses en mouvement rotatif ou alternatif.

Cependant, il y a lieu de remarquer que dans les essais effectués avec des locomotives électriques, où les forces d'inertie sont équilibrées, on a de même observé (tout au moins avec les locomotives type E. 432) des oscillations très sensibles, qui n'ont par contre pas été enregistrées avec locomotives E. 431, qui se diffé-

1. Des essais qui ont été effectués par la suite avec des locomotives de type semblable, ont confirmé ces résultats.

Les oscillations susdites sont plus nettement en évidence sur la fig. 2, où sont reproduits quelques-uns des diagrammes tirés des essais susdits effectués avec deux locomotives E. 432. Les abscisses représentent l'espace parcouru par les locomotives à partir de l'instant de l'entrée du premier essieu sur la travée.

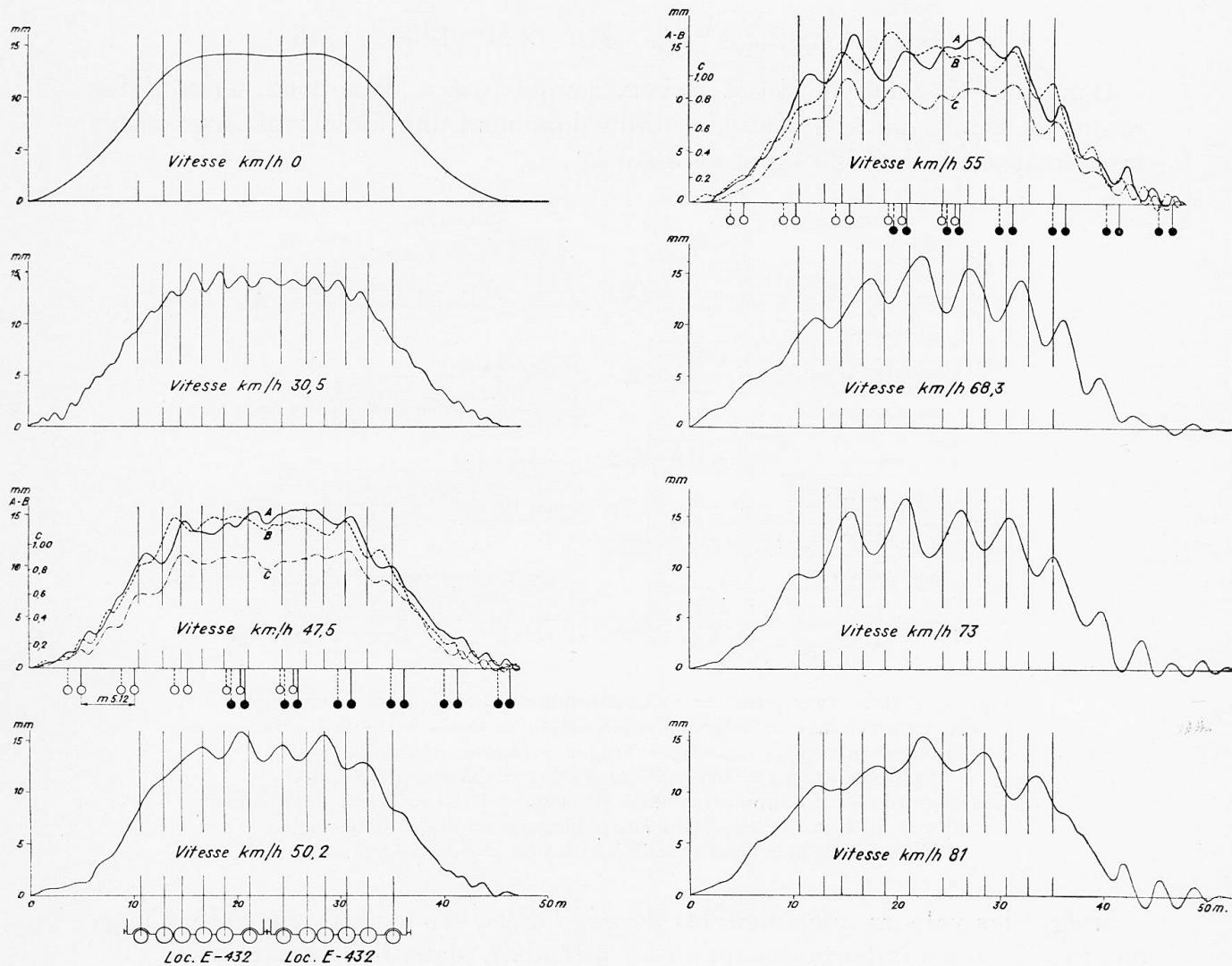


Fig. 2. — Vitesse km/h = Geschwindigkeit km/h = Speed km/hour.

Les traits verticaux indiquent les passages des essieux au milieu du pont, où l'appareil était placé. Dans les diagrammes 3 et 5, qui sont les plus complets, les lignes pleines A donnent les fléchissements de la poutre en amont ; les lignes pointillées B ceux de la poutre en aval. Les signes \circlearrowleft et \circlearrowright indiquent les moments où les manivelles en amont et en aval de la première locomotive étaient en bas. Les signes \bullet et \circ donnent les mêmes indications pour la seconde locomotive.

Il est aisé de voir la relation entre les positions des manivelles et les oscillations des poutres, aussi bien que l'action de torsion sur la travée.

Pour mieux mettre en évidence l'effet des forces d'inertie des masses tour-

nantes, dans les essais au pont de Lunghezza, on a ajouté aux contrepoids des masses supplémentaires, pour déséquilibrer les locomotives.

Dans une locomotive 685 (3 essieux couplés) on a ajouté 4 séries différentes de poids, qui à la vitesse critique donnaient une force d'inertie totale respective de :

Série	I	II	III	IV
Force centrifuge kg.	470	890	1330	1746

Dans une locomotive 940 (4 essieux couplés) on a placé deux séries différentes de poids, qui à la vitesse critique donnaient une force centrifuge résultante respective de 1623 kg et de 2546 kg.

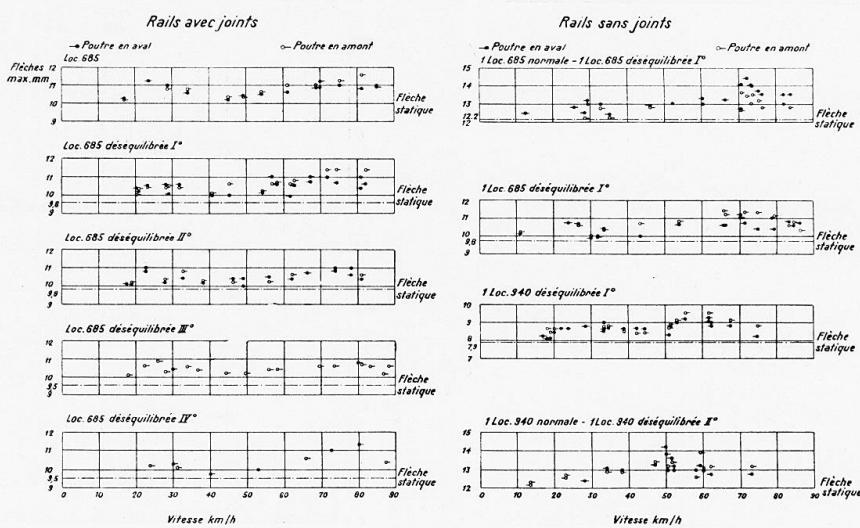


Fig. 3. — Rails avec joints = Schienen mit Stössen = Rails with joints.

Rails sans joints = Schienen ohne Stösse = Rails without joints.

Poutre en aval = talseitiger Träger = Girder, downhill side.

Poutre en amont = bergseitiger Träger = Girder, uphill side.

Loc. déséquilibrée = Lokomotive ohne Massenausgleich = Loco. unbalanced.

Flèche statique = Statische Durchbiegung = Static deflection.

Vitesse km/h = Geschwindigkeit km/h = Speed km/hour.

Malgré les valeurs considérables de ces forces, on n'a pas constaté d'augmentations aussi importantes qu'on s'y attendait, dans les oscillations.

Les flèches maxima observées ressortent du tableau 3.

Majoration dynamique des flèches. Les coefficients de majoration dynamique des flèches sont remarquablement différents d'une expérience à l'autre, même sans changement ni de travée ni de locomotive ni de vitesse.

Le maximum des coefficients susdits a été de 1,24 au pont de Pise, plus court et relativement plus flexible. Les valeurs atteintes dans les autres essais avec locomotives normales, ont été de 1,18 au pont sur l'Aniene et de moins de 1,10 dans les ponts de Mezzocorona et de Piacenza.

Fréquence des oscillations. L'examen des diagrammes, là où ils présentent des oscillations régulières, nous a permis de terminer avec une approximation suffisante, les fréquences des oscillations fondamentales des travées sans charge et sous charge. On en a tiré les valeurs v_g et $v_p + v_g$ du tableau suivant.

On a aussi calculé les fréquences théoriques correspondantes ν'_g et ν'_{p+g} par la formule :

$$\nu' = \frac{5,61}{\sqrt{f}} \text{ Hertz.}$$

(où f désigne la flèche au milieu, en centimètres), valable pour la poutre prismatique de poids uniforme.

On a calculé les flèches dues au poids fixe en employant le module d'élasticité tiré des rapports entre les flèches théoriques dues aux surcharges et les flèches mesurées.

	Fréquences			
	Sans charge		Sous charge	
	Théoriques $\nu'_g =$ Hertz.	Mesurées $\nu_g =$ Hertz.	Théoriques $\nu'_{p+g} =$ Hertz.	Mesurées $\nu_{p+g} =$ Hertz.
Pont de Pise : poutres à âme pleine ; $l =$ m. 20, 90.....	7, 09	6, 90	3, 98	3, 95
Pont de Mezzacorona : Poutres en treillis ; $l =$ m. 29, 12.....	8, 58	8, 21	5, 00	4, 95
Pont de Lunghezza : poutres en treillis ; $l =$ m. 39.....	6, 94	6, 90	4, 42	3, 60
Pont de Piacenza : poutres en treillis ; $l =$ m. 61, 02.....	4, 72	4, 38	3, 21	3, 16
Pont de Piacenza : poutres en treillis ; $l =$ m. 74, 52.....	3, 89	3, 82	2, 80	2, 74

Si l'on fait leur part aux nombreuses causes d'erreur et au degré d'approximation des formules, aux erreurs éventuelles dans l'évaluation des poids fixes, peut-être parfois inférieurs aux poids réels, à l'effet des ressorts et aux autres causes de perturbation, pour ce qui concerne les surcharges, l'accord entre les données théoriques et les résultats expérimentaux est souvent satisfaisant.

Pour le pont sous charge, l'erreur paraît s'accentuer lorsque la surcharge est de beaucoup plus courte que la poutre, ce qui tient évidemment au fait que pour une charge de petite longueur le coefficient des formules qui donnent ν' devrait être inférieur.

Dans le pont sur l'Aniene, les deux locomotives 940 avaient une longueur totale entre les essieux extrêmes de m. 23 vis-à-vis de la longueur du pont de m. 39.

Avec une seule locomotive, qui n'occupe que m. 9, 90 la différence augmente encore ($\nu'_{p+g} = 4, 75$ Hertz ; $\nu_{p+g} = 3, 90$ Hertz).

Appareil pour la mesure des fléchissements des poutres du tablier.

Pour la mesure des flèches des poutres du tablier, on vient de construire à l'Institut de Mécanique appliquée aux Constructions de l'École polytechnique

de Pise, un appareil qui peut servir aussi à la mesure des flexions d'autres membrures de ponts.

Comme il s'agit de mesurer de petites flèches de poutres soumises à de fortes vibrations, on a eu recours à un système optique (fig. 4).

À une extrémité A de la poutre, est fixé un appareil d'éclairage qui donne un mince pinceau lumineux horizontal ; une lentille convergente placée au centre C de la poutre reproduit l'image de cette fente à l'autre extrémité B, où une mince fente verticale réduit l'image à un point lumineux qui est enregistré par un film sensible.

Les déplacements enregistrés sont doubles des flèches du milieu de la poutre par rapport aux extrémités.

Pour la mesure des flèches très petites, on a ajouté un jeu de prismes à deux faces réfléchissantes perpendiculaires, placés aux extrémités de l'appareil, qui permettent d'obtenir aussi une amplification 6.

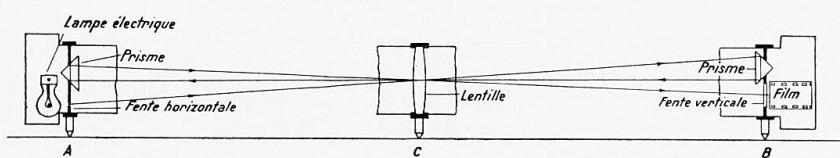


Fig. 4. — Lampe électrique = Elektrisches Licht = Electric lamp.

Fente horizontale = Horizontaler Spalt = Horizontal gap.

Lentille = Linse = Lentil.

Prisme = Prisma = Prism.

A l'aide du microscope, on peut alors aisément apprécier des déplacements de 0,01 mm.

L'appareil peut aussi se placer sur les barres des poutres en treillis pour en mesurer les fléchissements. L'appareil qu'on vient de construire a une longueur de 4,70 m. convenable pour les essais des poutres du tablier.

Pour chaque longueur, il faut avoir une lentille convenable.

L'appareil a été appliqué à la partie centrale des poutres du pont sur l'Arno à Pise. Il donnait ainsi la flèche relative à une longueur de 4,70 m. (longueur de la poutre, 20,90 m.), ce qui correspond à peu près à la courbure au centre de la poutre.

Les résultats acquis sont montrés par les lignes C des diagrammes 3 et 5 fig. 2, qui représentent les flèches susdites, à échelle convenable, indiquée sur l'axe des ordonnées, à droite.

Si l'on compare ces diagrammes avec ceux des flèches totales des poutres en aval et en amont, attendu que l'appareil optique était placé sur une des poutres intérieures, proche de la poutre en amont, on peut remarquer un bon accord entre les flèches et la courbure au milieu. La majoration dynamique est à peu près la même.

Ce procédé nous offre cependant le moyen de mesurer les déformations d'une partie du pont et d'avoir ainsi une donnée intermédiaire entre les fléchissements totaux et les déformations locales.

L. CAMBOURNAC,
Ingénieur en Chef du Chemin de Fer du Nord, Paris.

Parmi les constructions soumises à l'action des charges dynamiques, il convient de placer au premier rang les tabliers métalliques de chemin de fer.

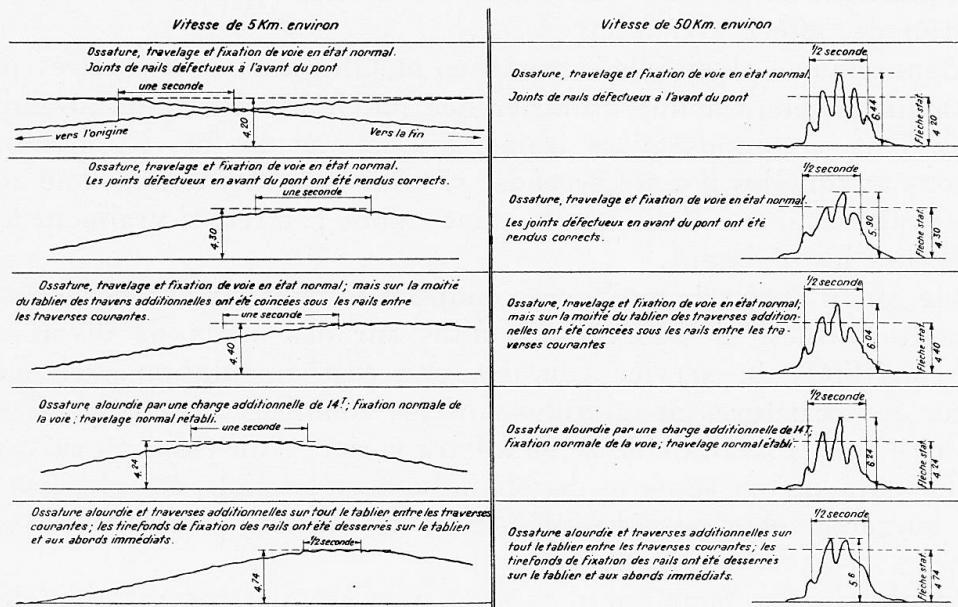


Fig. 1. — Vitesse de 5 km environ = Geschwindigkeit von ungefähr 5 km. = Speed about 5 km/hour.

Ossature, travelage et fixation de voie en état normal. Joints de rails défectueux à l'avant du pont = Gebälk, Verbände und Schienenbefestigung in Normalzustand. Schadhafte Schienenstöße ausserhalb der Brücke = Floor framing, sleepers and fixing of rail in normal condition.

Rail joints defective before the bridge.

Une seconde = Eine Sekunde = One second.

Vers l'origine = Gegen den Anfang = Towards the beginning.

Vers la fin = Gegen das Ende = Towards the end.

Les joints défectueux en avant du pont ont été rendus corrects = Die schadhaften Stöße ausserhalb der Brücke sind in Stand gesetzt worden = The defective rail joints before the bridge have been put in order.

...; mais sur la moitié du tablier des traverses additionnelles ont été coincées sous les rails entre les traverses courantes.

...; auf halber Fahrbahn sind zusätzliche Schwellen zwischen den laufenden Schwellen unter die Schienen gekeilt worden.

...; but on half the floor of the bridge additional sleepers have been laid between the normal sleepers, and wedged to the rails.

Ossature alourdie par une charge additionnelle de 14 t.; fixation normale de la voie = Balken durch eine zusätzliche Last von 14 t. beschwert. Normale Befestigung der Schiene = Floor framing loaded with an additional weight of 14 tons. Normal fixing of the rails.

Ossature alourdie et traverses additionnelles sur tout le tablier entre les traverses courantes; les tirefonds de fixation des rails ont été desserrés sur le tablier et aux abords immédiats = Balken beschwert, zusätzliche Schwellen zwischen den laufenden Schwellen auf ganze Fahrbahn; die Schienenbefestigungsschrauben sind auf der Fahrbahn und den anschliessenden Strecken losgeschraubt = Floor framing loaded and additional sleepers along the whole floor between the normal sleepers; the fishplates have been loosened along the bridge and in its immediate neighbourhood.

En vue d'établir les lois de l'action des charges roulantes sur les ponts de chemins de fer, on a multiplié des observations consistant à mesurer et à

enregistrer — soit les efforts développés dans les divers éléments de tabliers en service, par le passage des charges roulantes au pas et en vitesse — soit les déformations qui en résultent.

Le rapport entre les efforts ou les déformations « en vitesse » et les efforts ou les déformations « au pas » constitue le coefficient d'impact ou coefficient de majoration dynamique et les recherches visent à déterminer comment varie ce coefficient en fonction des multiples facteurs qui interviennent dans la production des efforts dynamiques.

Étant donné la complexité des structures métalliques sur lesquelles portent les investigations, étant donné l'interférence inévitable des effets produits par les essieux dont se composent les trains de chemins de fer, les nombreuses observations auxquelles il a été procédé, si elles ont bien donné une idée de l'ordre de grandeur des actions dynamiques, n'ont pas réussi vraiment à dégager les lois qui les régissent.

Il semble qu'on aurait de meilleures chances de dégager ces lois en substituant à cette synthèse d'observations faites sur des ponts de divers types, dans les conditions du service courant, une expérimentation systématique, portant sur des structures métalliques simples soumises au passage d'essieux isolés, et que l'on conduirait de façon à faire varier, d'un essai au suivant, un seul des facteurs qu'on suppose devoir influencer l'action des charges dynamiques : longueur et poids des éléments de tablier, poids et vitesse des essieux.....

La présente note a pour but d'exposer une première application de cette méthode analytique qui a été tentée à Douai, sur le chemin de fer du Nord, en 1931.

Pont d'essai. — Il importait de commencer par une structure métallique aussi simple que possible, de manière à éviter les résonances résultant de la solidarité des divers éléments d'une structure ordinaire.

Le premier pont d'essai a donc été constitué par deux poutres sous rails, de 9 m. 40 de portée, réunies par des entretoises. Ce tablier, qui pèse 11 t., est d'ailleurs susceptible d'être alourdi de manière à porter son poids mort à 25 t., sans faire varier ni sa portée ni son module de résistance mécanique.

Cette structure permet d'étudier l'action des surcharges roulantes sur des poutres droites simplement appuyées à leurs extrémités, pour des valeurs différentes du rapport des surcharges roulantes au poids mort du tablier.

Il sera loisible de substituer ultérieurement au tablier d'essai de 9 m. 40 de portée deux tabliers de 4 m. 50 de portée, simplement appuyés sur un appui médian, ou un tablier à poutres continues en deux travées de 4 m. 70 chacune, à la manière des longerons sous rails dans les tabliers à poutres latérales ; l'appui médian pourra être lui-même constitué par un chevêtre transversal appuyé ou encastré en des points extérieurs aux poutres sous rails, à la manière des entretoises dans les tabliers des ponts.

On pourra ainsi étudier l'action des surcharges roulantes sur des éléments tout à fait comparables aux longerons et entretoises que comportent les tabliers en service sous voie ferrée.

Surcharge roulante. — Cette surcharge a été réduite à un essieu isolé,

de manière à éviter le brouillage qui résulte, dans les enregistrements sur des ponts en service, de la superposition des effets produits par les différents essieux dont se compose un train de chemin de fer.

Cette surcharge consistait en un véhicule construit par les Chemins de fer Fédéraux Suisses et comportait un essieu unique sans ressort pouvant peser jusqu'à 36 t. Ce véhicule est susceptible de rouler à une vitesse atteignant jusqu'à 50 km. à l'heure.

On avait donc la possibilité de faire varier le poids et la vitesse de cet essieu unique.

Il est loisible d'envisager que cet essieu unique puisse être ultérieurement muni de ressorts, de manière à étudier l'influence des dispositifs de suspension élastique, puis remplacé par un véhicule à deux essieux, de manière à étudier la composition des efforts dynamiques.

Essais effectués. — En raison du court délai dont on disposait on se borna à expérimenter le passage du véhicule suisse aux vitesses extrêmes du pas, de 50 km. à l'heure environ et sans faire varier le poids de l'essieu qui resta fixé à 36 t.

Le tablier fut alourdi de 11 à 25 t. pour certains passages et on fit varier le mode de fixation des rails sur les poutres et la stabilité de la voie sur le tablier et aux abords.

Les efforts dans les poutres et les flèches du tablier furent enregistrées à l'aide des appareils suivants :

a) Tensimètres :

l'appareil suisse Meyer-Bühler à enregistrement par organes exclusivement mécaniques ;

l'appareil anglais Fereday-Palmer à enregistrement mécanico-optique ;

l'appareil allemand de la Reichsbahn dit « à charbon » à enregistrement électro-optique.

b) Fleximètres :

l'appareil suisse Stoppani ;

l'appareil français Rabut,

tous deux à enregistrement par organes exclusivement mécaniques.

Résultats obtenus. — Réserve étant faite que la vitesse de 50 km. n'a pu être réalisée qu'approximativement et n'était donc pas identique d'un essai au suivant, le dépouillement des enregistrements conduit aux constatations suivantes :

1) le coefficient de majoration dynamique est, toutes choses égales d'ailleurs, plus élevé dans les membrures supérieures des poutres qui sont comprimées que dans les membrures inférieures qui sont tendues.

2) Le mode de fixation de la voie sur le tablier, la stabilité de la voie sur le pont et en amont du pont paraissent avoir une influence sensible sur les effets dynamiques : des joints de rails défectueux aux abords, des traverses plus ou moins espacées, des rails plus ou moins bien assujettis par les tirefonds font varier le coefficient d'impact.

3) Le poids mort du tablier, ou plus exactement le rapport entre ce poids mort et la surcharge roulante, paraît, toutes choses égales d'ailleurs, sans influence sur le coefficient d'impact.

A titre d'exemple, on a reproduit, en annexe, des diagrammes obtenus au fleximètre Rabut pour les divers états du tablier et de la voie indiqués et aux vitesses du pas et de 50 km. à l'heure.

Ces constatations n'ont pas une valeur définitive, parce que les essais ont été trop peu nombreux et qu'il n'a pas été possible de donner à la surcharge roulante une vitesse rigoureusement constante.

Il a paru intéressant, néanmoins, de les faire connaître, pour illustrer les possibilités de la méthode d'expérimentation systématique préconisée dans la présente note comme moyen de déterminer les lois de l'action des charges dynamiques.

Dr. Ing. W. GEHLER,

Professor der Technischen Hochschule und
Direktor beim Staatl. Versuchs- und Materialprüfungsamt, Dresden.

Während die üblichen Versuche zur Bestimmung der Dauerfestigkeit von Stabverbindungen des Stahlbaues in der Regel mit den sogenannten Pulsometer-Maschinen durchgeführt werden, ist bei den vorliegenden Versuchen der Grundgedanke massgebend gewesen, unmittelbar an einem Fachwerkträger aus Baustahl einen bestimmten Fachwerkstab hinsichtlich seiner Beanspruchungen durch Schwingungen dauernd zu beobachten. Zu diesem Zwecke wurde im Versuchs- und Materialprüfungsamt nach Vorschlag des Verfassers ein 15,0 m weitgespannter Parallelträger von 1,0 m Höhe aufgestellt, dessen mittlerer Untergurtstab entweder als Augenstab ausgebildet und jeweils ausgewechselt werden kann oder mittels besonderer Klemmbacken eingespannt wird (s. Bild 1). Die Schwingungen werden durch einen Losenhausen-Schwinger erzeugt, bei dem 2 exzentrisch angeordnete Massen in entgegengesetztem Sinne rotieren. Die höchste, hiermit erreichbare Zentrifugalkraft beträgt 10^t bei 12 Umdrehungen in der Sekunde. Der Träger ist derart ausgebildet, dass er sowohl auf 4 Punkten, als auch auf 3 Punkten (statisch bestimmt) gelagert werden kann. Auch besteht die Möglichkeit, nach Bedarf die Stützweite auf 10 m einzuschränken.

Ferner kann in der Mitte des Untergurtes entweder ein Stab eingesetzt werden, sodass der Träger als Dreigurt-System aufzufassen ist, oder es werden daselbst 2 Stäbe in den Tragwandebenen eingebaut, sodass er in der üblichen Weise als Viergurtträger wirkt (Bild 2). An Stelle der zuerst vorgesehenen Verbindungen mit Bolzengelenken wurde für die Durchführung der Versuche eine Verbindung mittels Klemmbacken gewählt, um ungünstige örtliche Beanspruchungen an der Einspannstelle zu vermeiden.

Die Messung in dem Versuchsstab selbst geschieht mit Hilfe eines Schwingungsmessers, System Sektionschef Meyer-Bern, ferner aber auch durch besonders hierfür ausgebildete Spiegelapparate.

Ein Vorversuch bestand in der Feststellung der Eigenschwingungszahl des Trägers. Sie wurde zunächst auf rechnerischem Wege nach dem Verfahren

von Pohlhausen (s. Bleich, Theorie und Berechnung der eisernen Brücken) zu 5,25 Hertz ermittelt, als Näherungswert ergibt sich nach der bekannten Formel des geraden Stabes 5,7 Hertz. Der Versuch wird nach dem Grundgedanken des Anzupfens einer Violinseite derart durchgeführt, dass der Träger

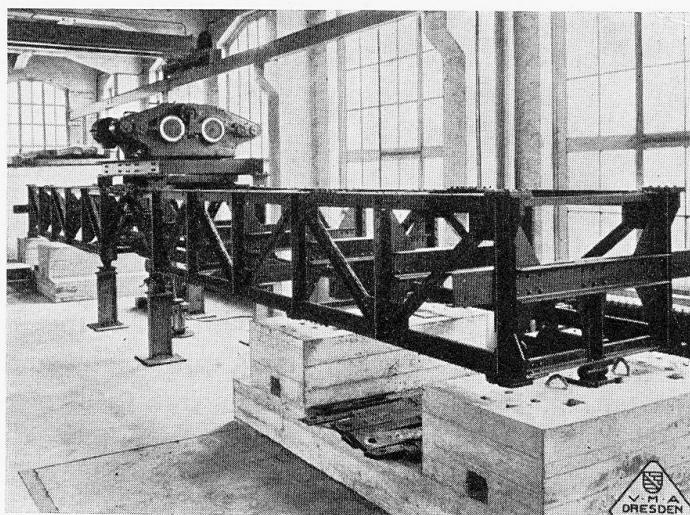


Fig. 1.

mittels eines auf einer hydraulischen Presse stehenden Stempels an der Obergurtmitte solange angehoben wird, bis ein Stahlstab am Kopfe des Stempels durchgeschert ist. Hierbei ergab sich als Eigenschwingungszahl

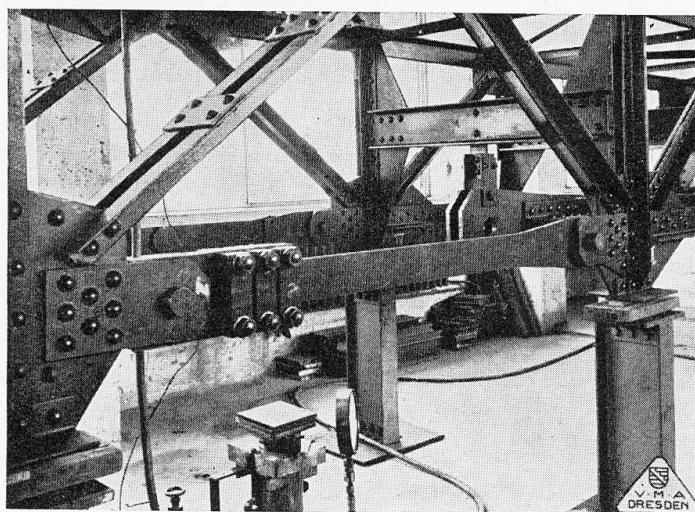


Fig. 2.

5,13 Hertz. Die Schwingungszahlen für die Dauerversuche wurden zu 3,5 bis 4 Hertz festgelegt.

Die Messvorrichtung bestand ausser dem bereits erwähnten Schwingungsmesser System Meyer in einem Martens'schen Spiegel, dem ein zweiter Spiegel vorgeschaltet war. Beide Spiegel wurden unter 45° zum Lichtstrahl

geneigt. Dadurch wird erreicht, dass der störende Einfluss einer Bewegung der beiden Enden des Versuchsstabes in waagerechtem Sinne für die Messung praktisch ausgeschaltet wird. Der Ausschlag bei dieser störenden Bewegung ergab sich zu nur 2,4 Bogenminuten.

Die Bedeutung dieser Versuchsanordnung besteht darin, dass die Beanspruchungen ganz ähnlich wie im Bauwerk selbst erfolgen, allerdings unter einer idealisierten Kraftquelle, die nur Sinusschwingungen ausübt. Z.Zt. werden eine grosse Anzahl von elektrisch geschweißten Stabverbindungen im Vergleich mit Nietverbindungen geprüft.

Traduction.

Dans les essais en question, nous avons suivi le principe fondamental consistant à observer les fatigues dans une barre d'une poutre en treillis au moyen d'oscillations permanentes, tandis que les essais habituels servant à contrôler la résistance à la durée des assemblages des barres, dans les constructions en acier, sont exécutés en règle générale au moyen des appareils désignés sous le nom de pulsomètres. Dans cette intention on a construit au laboratoire d'essais des matériaux de Dresde, suivant le projet de l'auteur une poutre parallèle de 1 m de hauteur et de 15 m de portée dont la barre médiane de la membrure inférieure était construite de telle façon qu'il était possible de la remplacer à volonté (Cliché N° 1). Les oscillations sont provoquées par un oscillateur Losenhausen, dans lequel deux masses excentrées tournent dans deux sens différents. La force centrifuge maximum qu'il est ainsi possible d'atteindre est de 10 t pour 12 tours à la seconde. La poutre est constituée de telle façon qu'elle puisse être appuyée en quatre ou en trois points (Appuis correspondant à une poutre statiquement déterminée). Il est aussi possible en cas de nécessité de réduire la portée à 10 m.

D'autre part, il est également possible de disposer la barre située au milieu de la membrure inférieure (Cliché N° 2) de telle façon que la poutre travaille comme ayant trois membrures; ou bien dispose deux barres dans le plan des poutres portantes de telle façon que la poutre travaille comme poutre à quatre membrures (Cliché N° 3). Au lieu d'articulations à tourillon, qui avaient été prévues tout d'abord aux différents nœuds, on a assemblé les barres au moyen d'agrafes spéciales, afin d'éviter des contraintes locales défavorables aux encastrements. La mesure sur la barre d'essai s'effectue au moyen d'un oscillographe construit suivant le système du Chef de Section Meyer, à Berne et d'un appareil à miroirs spécialement construit à cet effet.

Le premier essai sert à déterminer la fréquence propre d'oscillation de la poutre. Ce nombre a tout d'abord été déterminé analytiquement d'après le procédé de Pohlhausen (voir Bleich « Theorie und Berechnung der eisernen Brücken ») et on a obtenu une valeur de 5,25 Hertz. La formule bien connue pour une barre simple donne comme valeur approximative 5,7 Hertz. Cet essai s'effectue par analogie avec le pincement d'une corde de violon, de telle façon que la membrure supérieure au milieu de la poutre soit fléchie au moyen du mouton d'une presse hydraulique jusqu'au moment où une petite pièce d'acier fixée au

mouton et exerçant la pression sur la membrure est cisaillée. Il a été ainsi possible de déterminer une fréquence de 5,13 Hertz. On a obtenu pour les essais de durée une fréquence de 3,5 à 4,0 Hertz.

Les mesures ont été faites au moyen de l'appareil déjà cité du système Meyer, ainsi qu'au moyen du miroir de Martens devant lequel était intercalé un second miroir. Les deux miroirs étaient inclinés à 45° par rapport au rayon lumineux. Il a été ainsi possible d'éliminer pratiquement les erreurs dues à un déplacement des deux extrémités de la barre d'essai dans le sens horizontal. L'écart pour ces déplacements n'a été que de 2,4 minutes.

La disposition choisie dans ces essais a le grand avantage de provoquer des contraintes en tout point semblables à celles qui sont produites dans la construction même. Cela n'est juste, il est vrai, que pour une charge théorique ne créant que des oscillations sinusoïdales. En ce moment, nous effectuons des essais de comparaison sur une grande quantité d'assemblages soudés électriquement ou rivés.

V 3

THÉORIE DES OSCILLATIONS DES PONTS ET CHARPENTES

THEORIE DER SCHWINGUNGSERSCHEINUNGEN AN TRAGWERKEN

THEORY OF THE OSCILLATIONS OF STRUCTURES

Dr. Ing. Friedrich BLEICH, Baurat, Wien.

Voir « Publication Préliminaire », p. 511. — Siehe « Vorbericht », S. 511.
See « Preliminary Publication », p. 511.

Participants à la discussion

Diskussionsteilnehmer

Participants in the discussion :

Dr. phil. W. SPÄTH,
Barmen.

Die drei bei der Belastung eines Bauwerks auftretenden Gegenkräfte, nämlich die elastische Federkraft, die Trägheitskraft und die Reibungskraft wurden bisher als linear mit der Verformung anwachsend vorausgesetzt. Eine eingehende Dynamik kann sich jedoch nicht mit der Annahme linearer Zusammenhänge begnügen, da infolge der hohen Auslastung von Bauwerken die für die mathematische Behandlung übliche Beschränkung auf kleine Verformungen nicht angängig ist.

Die für die Bautechnik wichtigsten Eigenschaften solcher nichtlinearer Schwingungen seien durch graphische Darstellungen kurz erläutert. In Abb. 1 sind die drei Einzelkräfte für verschiedene Betriebsbedingungen vektoriell zusammengesetzt. Die Federkraft nehme hierbei gemäss der stark gezeichneten Belastungs-Verformungslinie zu. Zur Bestimmung der Reibungskräfte sei der