Contribution à l'étude du problème des oscillations

Autor(en): **Späth, W.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **IABSE publications = Mémoires AIPC = IVBH Abhandlungen**

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

PDF erstellt am: **27.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-736

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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DU PROBLÈME DES OSCILLATIONS

BEITRAG ZUR LÖSUNG DES SCHWINGUNGSPROBLEMS

CONTRIBUTION TO THE STUDY OF VIBRATIONS

Dr. phil. W. SPÄTH,
Ingénieur Conseil, Barmen.

Le développement de la technique, en ces dernières années, est caractérisé par un accroissement constant des dimensions des ouvrages réalisés et en outre, par une augmentation importante des vitesses de régime. Il en résulte une utilisation poussée à l'extrême des propriétés des matériaux employés. Ce développement a fait de plus en plus surgir des questions techniques qui, en fin de compte, sont liées d'une part à l'inertie des éléments entrant dans la construction, d'autre part à l'élasticité des mêmes éléments, soumis à de fortes sollicitations.

Une masse inerte, mise en mouvement par une force extérieure ne s'arrête pas immédiatement lorsque cette force disparaît, au contraire, elle conserve en conséquence de la vitesse qui lui a été imprimée, une certaine capacité de travail, une énergie cinétique que des résistances quelconques qui lui sont opposées absorbent. Il en est de même pour un élément élastique, partie constitutive d'une construction et qui est déformé par une force extérieure, cet élément emmagasine une énergie potentielle qui disparaît lorsque, sous l'influence de l'élasticité, la pièce reprend sa forme primitive. Ces propriétés fondamentales qui se produisent toujours simultanément dans les constructions, provoquent l'apparition des phénomènes oscillatoires, dont la connaissance est d'une importance primordiale.

L'examen de la théorie des oscillations provoquées ou entretenues est relativement difficile pour l'ingénieur qui ne s'est pas encore occupé de ces phénomènes. Il est bon par conséquent, de la préciser à l'aide d'une représentation graphique d'où découlent très aisément les faits les plus importants.

I. Théorie vectorielle des vibrations forcées.

Une masse m subit un mouvement de va et vient sinusoïdal. L'amplitude maximum est A. Elle est alors en fonction du temps:

$$a = A \sin \omega t$$

D'où la vitesse se détermine par:

$$v = \frac{da}{dt} = \omega \cdot A \cos \omega t$$

Et l'accélération:

$$b = \frac{dv}{dt} = - \omega^2 \cdot A \cdot \sin \omega t$$

L'amplitude est d'une importance primordiale pour l'observation des oscillations mécaniques dans la pratique. Ceci a amené le choix de l'amplitude comme base des observations théoriques ce qui complique toutefois les relations. Il est beaucoup plus simple de prendre la vitesse comme point de départ, car alors, les relations deviennent extraordinairement simples, comme il sera démontré brièvement ci-après. La force que la masse m oppose aux mouvements par suite de son inertie est:

$$P_m = m \cdot b = - m \cdot \omega^2 \cdot A$$

Elle peut aussi s'écrire:

$$P_m = - m \cdot \omega \cdot (\omega \cdot A) = - \omega m \cdot V$$

Par conséquent, la force qu'une masse m oppose à un mouvement alternatif sinusoïdal peut être représentée par le produit de la resistance ωm déwattée et de la vitesse V.

Par suite du déplacement de la masse m, il faut également vaincre une réaction élastique, l'élasticité intervient sous forme d'une constante élastique c

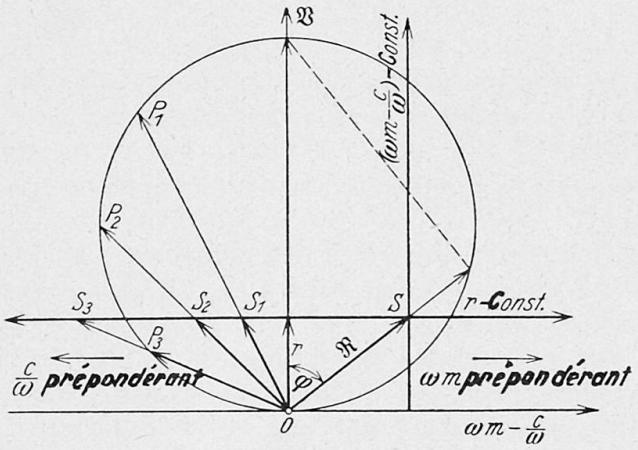

Fig. 1.

Diagramme vectoriel d'un système mécanique oscillant — Vektordiagramm eines mechanischen Schwingungssystems — Vector diagram of a mecanical vibrating system.

que l'on peut définir comme étant la force nécessaire à provoquer la déformation de l'unité de longueur. La force nécessaire à provoquer la déformation maximum A est alors:

$$P_c = c \cdot A = c \cdot \frac{V}{\omega} = \frac{c}{\omega} \cdot V$$

La force élastique d'un ensemble mécanique peut par conséquent être représentée par la résistance déwattée c/ω multipiée par la vitesse V. Entre la force d'inertie et la force d'élasticité, il y a un déphasage de 180 dégrées, elles sont toujours en opposition.

Dans le mouvement de la masse m, il faut en outre vaincre la résistance r d'une friction etc. et la force nécessaire pour le faire, est:

$$P_r = r \cdot V$$

Cette force est en phase avec la vitesse.

Par ce mode de représentation des forces isolées comme produit d'une résistance et d'une vitesse de déformation, on montre le rapport très étroit qui existe avec les oscillations électriques et il est possible d'étudier les phénomènes à l'aide d'un diagramme vectoriel. Si dans un système de coordonnées rectangulaires on porte la vitesse en ordonnée, la résistance par le frottement aura la même direction. Comme les deux résistances déwattées

de l'inertie et de l'élasticité sont en opposition continuelle, il reste toujours en abscisse une certaine valeur $\omega m - c/\omega$. La résistance totale peut être exprimée comme suit:

$$R = \sqrt{(\omega m - c/\omega)^2 + r^2}$$

La force totale a donc pour valeur:

$$P = V \cdot \sqrt{(\omega m - c/\omega)^2 + r^2}$$

Lorsque l'on modifie la fréquence ω de la force motrice la pointe du vecteur de la résistance totale S parcourt une ligne parallèle à l'axe des abscisses à une distance r. Fig. 1.

Dans la pratique, la question se pose en général inversement. L'on ne cherche pas la force nécessaire à maintenir une vitesse de déformation déterminée, mais inversement, on donne une force périodique déterminée et on demande de trouver la vitesse ou l'amplitude développée par cette force. On obtient les courbes du lieu géométrique du vecteur de la vitesse par l'in-

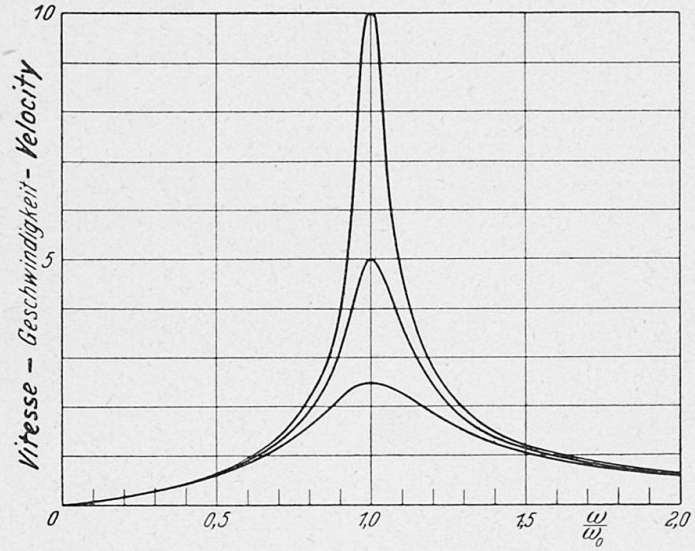

Fig. 2.
Courbes de résonance de vitesse — Resonanzkurven der Geschwindigkeit — Resonance curves of the speed.

version des parallèles, ce qui donne un cercle (Fig. 1). Les vecteurs OP_1, OP_2, OP_3 etc. donnent l'amplitude absolue et la phase du vecteur de la vitesse pour chaque fréquence ω. On peut déduire de ce diagramme vectoriel les courbes de phase et de résonnance des vitesses en fonction de la fréquence. Ces courbes de résonnance, pour différentes capacités d'amortissement sont représentées dans Fig. 2. Ces courbes de résonnance des vitesses permettent d'obtenir très simplement les courbes de résonnance de l'amplitude de déformation en divisant par ω. (Fig. 3.)

Jusqu'à présent, il avait été admis que la force motrice restait constante et indépendante de la fréquence. En général, ce n'est pas le cas. Comme dans la technique, la plupart des forces périodiques sont provoquées par des forces centrifuges, il est important de considérer les relations théoriques en tenant compte des forces motrices augmentant suivant le carré de la fréquence. Fig. 4 montre par exemple les courbes de résonnance des amplitudes de déformation correspondantes. Il se produit le phénomène que voici: pour des fréquences très élevées, l'amplitude ne tombe pas à zéro, mais tend vers une valeur limite constante.

La clarté qui caractérise ces diagrammes vectoriels m'a amené à parler très brièvement de ces questions; un exposé complet vient de paraître (1) [1]).

II. Le procédé de mesure des machines d'essais dynamiques.

L'étude de ces phénomènes est devenue une question vitale pour la technique, surtout pour la construction des ponts. Les questions posées par les oscillations dans les différents domaines de la technique sont extraordinairement diverses. Il y a trois points à considérer dans l'étude des phénomènes:

1. La recherche des conditions dans lesquelles se présentent les efforts dynamiques dans la construction.
2. L'observation et par conséquence l'élimination des forces pertubatrices périodiques (Technique de l'équilibrage).
3. La mésure de la résistance dynamique, non seulement du matériau lui-même, mais encore des assemblages importants.

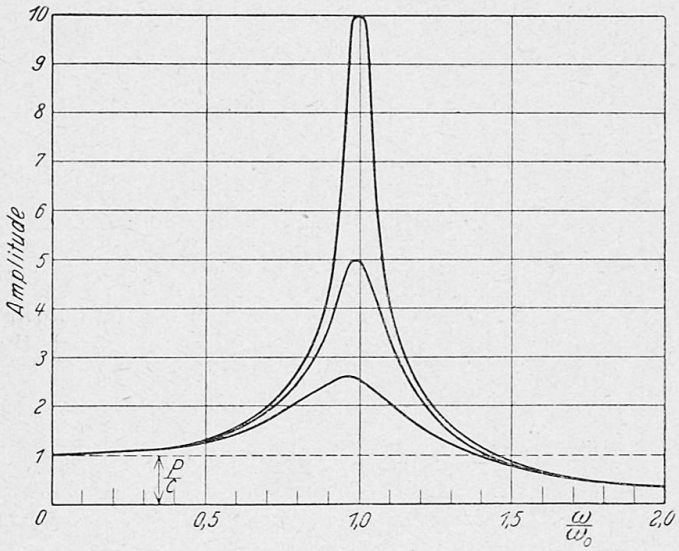

Fig. 3.
Courbes de résonance d'amplitude — Resonanzkurven der Amplitude — Resonance curves of the amplitude.

Le procédé de mésure qui sert de base aux machines destinées à effectuer des essais d'oscillations, consiste à exercer sur la construction à essayer, des efforts périodiques, ayant une fréquence, une intensité et des directions réglables à volonté, ce qui permet d'obtenir un aperçu des particularités dynamiques des phénomènes oscillatoires provoqués. Ces particularités fondamentales peuvent, par ce moyen, être exprimées en valeurs simples.

L'application des efforts s'effectue généralement en utilisant la force centrifuge, provenant des masses disposées excentriquement. En général on a au moins deux masses rotatives afin que l'on reçoive des forces périodiques seulement dans une direction. Pour l'exécution des essais une machine d'essais dynamiques est fixée au milieu des chassis quelconques. La mise en marche de la machine se fait par des moteurs à courant continu, dont le nombre de tours peut être modifié à l'aide d'un dispositif régulateur. Lorsqu'on imprime aux masses excentriques de la machine un mouvement de rotation, on exerce sur les chassis des efforts périodiques que l'on peut facilement

[1]) Les chiffres entre parenthèses rappellent les numéros de la référence (voir la fin de ce rapport).

calculer. Au début l'influence sur le chassis est pour ainsi dire nulle; au fur et à mesure que le nombre de tours augmente, le chassis subit des oscillations de plus en plus fortes, pour atteindre un maximum absolument caractéristique pour un nombre de tours déterminé. Lorsqu'on augmente encore le nombre de tours, les écarts du chassis décroissent et atteignent finalement des valeurs très petites. (Voir Fig. 4.)

Au lieu de mesurer les écarts des oscillations, on peut employer aussi un autre moyen de mesure, moyen qui présente le grand avantage d'une complète indépendance vis à vis de points fixes quelconques, ce qui donne un processus très simple. La mesure consiste à déterminer, à l'aide d'un wattmètre, la charge à laquelle est soumis le moteur électrique. Du fait que le travail à fournir par le moteur s'accroît considérablement au passage du point critique de fréquence, on obtient une courbe de résonance du travail. On peut déduire de ces courbes de résonance, qui sont très caractéristiques pour la construction envisagée, toutes les valeurs fondamentales concernant le comportement dynamique d'une construction.

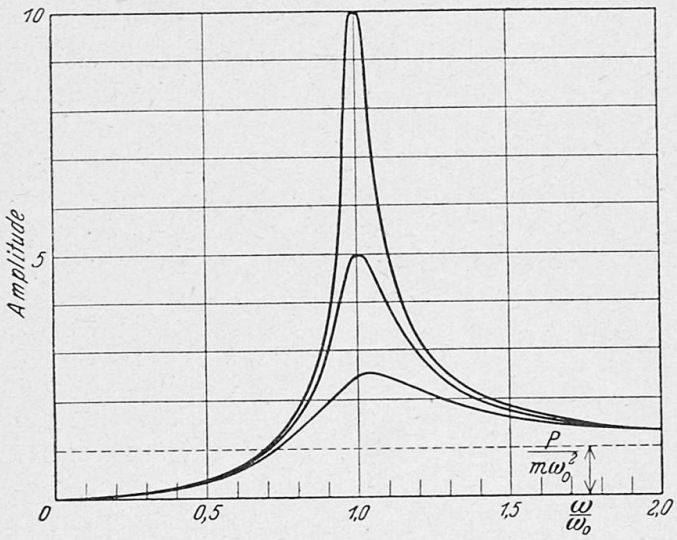

Fig. 4.

Courbes de résonance d'amplitude pour une excitation croissant comme le carré de la fréquence — Resonanzkurven der Amplitude für eine quadratisch mit der Frequenz zunehmende Erregerkraft — Resonance curves of the amplitude for an exciting force increasing with the square of the frequency.

Ces machines d'essais peuvent être utilisées très avantageusement dans tous les cas où il s'agit de concentrer en chiffre le comportement d'une construction vis à vis des oscillations. Le domaine d'utilisation de ces machines s'est particulièrement étendu car dans presque tous les domaines de la technique où l'on utilise des systèmes mécaniques, on se trouve en présence de phénomènes dynamiques.

Immédiatement après la présentation publique d'une machine d'essais dynamiques au Congrès International des Ponts et Charpentes à Vienne en 1928 (2) les cercles intéressés ont attaché une importance considérable aux essais de ce genre pour la construction des ponts, il fut reconnu également que cette machine avait des possibilités d'utilisation très diverses.

1. Recherches du comportement dynamique de l'ensemble d'une construction.

Ces recherches permettent de déterminer la résistance d'une construction et d'en modifier soit le système, soit la réalisation. Elles permettent de déterminer également la comparaison entre différentes constructions, en se

basant sur des valeurs chiffrées exactes ainsi que la surveillance continuée d'une construction existante. Comme exemple nous citérons:

a) Recherches concernant les ponts, comparaisons chiffrées de différents systèmes de treillis ou mode de fabrication, valeurs chiffrées des caractéristiques du trafic (vitesses critiques), coéfficient de choc, surveillance des travaux de consolidation (3), (4), (5), (6), (11), (16).

b) L'examen des bâtiments, influence des vibrations du trafic.

c) Vérification des navires, comportement des navires pris dans leur ensemble ou de certaines de leur parties constituantes, ponts, fondation des machines etc. (7), (12).

d) Recherches concernant l'élasticité des fondations, assises, mesure des résistances des assises, potentiel de propagation des oscillations, absorption, mesure du tassement d'une bâtisse par suite des vibrations (13).

e) Recherches concernant l'élasticité et le point critique des oscillations des moyens de locomotion de toutes espèces tels que locomotives, wagons de chemin de fer, automobiles etc. (9).

2. Exécution de mesures périodiques.

L'état d'une construction peut être établi d'une façon caractéristique par la détermination de ses propriétés dynamiques, notamment par l'examen des courbes de résonance. Les modifications quelconques qui peuvent intervenir, soit au cours de l'utilisation régulière, soit par suite d'un évènement unique influencent ces courbes, de sorte que les mesures périodiques exécutées régulièrement permettent de déterminer, par simple comparaison des valeurs, les modifications qui endommageraient l'ouvrage lui-même ou nuiraient à sa sécurité (4), (5), (6).

3. Exécution d'essais de longue durée.

Il est possible, à l'aide de machines d'essais dynamiques relativement petites, de produire des charges qui correspondent à celles qui surviennent dans la pratique. De cette façon, il est possible de faire des essais de fatigue sur des ouvrages entiers analogues à ceux de la pratique. Ils permettent les recherches indiquées ci-dessous.

a) Détermination de la résistance à la fatigue des constructions (5), (16).

b) Mesurage de la résistance à la fatigue des assemblages importants, comme par exemple, assemblage par rivetage ou soudure et détermination des phénomènes internes dans ces éléments (5), (16).

c) Mesure des conditions de tassement dans les fondations (13).

4. Essais sous charges répétées.

Afin de remplacer, lors de la réception d'un ouvrage, les essais statiques qui consistent à charger celui-ci par des masses mortes, par un procédé moins couteux, on peut se servir des machines de mise en oscillation. Leur emploi est surtout indiqué pour l'essai des ponts (8).

III. Construction des machines d'essais dynamiques.

Après une étude approfondie des conditions de construction et de travail excessivement délicates qui doivent être prises en considération pour la construction de ces machines, on est arrivé à élaborer des machines d'essais dynamiques différentes pour des utilisations déterminées. Les machines sont

construites par la maison Losenhausenwerk A.-G. Düsseldorf. Par la suite, nous décrivons quelques types modernes de machines d'essais dynamiques.

Machine d'essais dynamiques pour l'examen des ponts.

Pour l'examen des ponts plusieurs types ont été réalisés qui correspondent chacun à des exigences particulières.

Machine universelle d'essais dynamiques.

Cette machine (Fig. 5) sert à l'étude générale des propriétés dynamiques des ponts de chemin de fer, et particulièrement à l'exécution de mesures périodiques afin de contrôler l'état de ces ouvrages. La machine est agencée pour exercer des efforts et des moments périodiques dans 3 directions per-

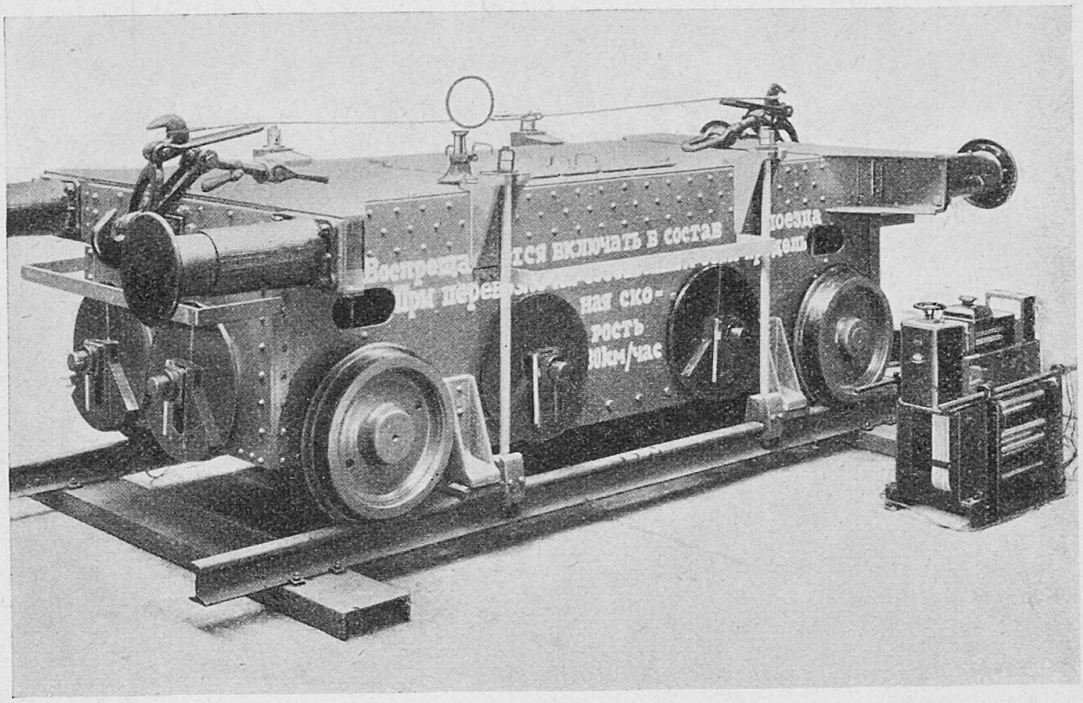

Fig. 5

pendiculaires les unes aux autres; non seulement peut on provoquer des oscillations verticales, mais en dehors de cela, des oscillations latérales et des torsions par rapport à l'axe du pont.

La machine comprend un wagon robuste en acier forgé, muni de buttoirs et d'attelages de sécurité. Le wagon peut se déplacer à une vitesse de 30 kilomètres. A l'intérieur du wagon se trouve un moteur spécial électrique, qui fait mouvoir 4 arbres par l'intermédiaire d'engrenages. Ces arbres dépassent le coffre du wagon et portent des masses destinées à provoquer des oscillations, c'est-à-dire en tout 8 masses. Les deux masses se trouvant de chaque côté du wagon se tournent en sens contraire. Ces masses peuvent être déplacées à volonté, pour prendre des positions excentriques par rapport aux arbres et permettent d'obtenir des directions d'oscillations variables (14), (15).

Le wagon est amené sur un wagon de marchandises jusqu'à la station la plus proche du lieu d'essais et ensuite, il est amené sur le pont à essayer.

La fixation du wagon sur les rails se fait à l'aide de brides spéciales, le courant est fourni par une batterie ou par une génératrice actionnée par un moteur à explosions.

La vitesse de rotation est réglée à l'aide d'un contrôleur très sensible et le nombre de tours par seconde est indiqué par un tachymètre de précision. Les éléments de commande peuvent être installés pour le réglage à distance, de sorte que l'opération de mesure peut se faire d'un wagon amené à proximité du pont. De cette façon, les opérations ne sont pas gênées par les conditions atmosphériques défavorables.

Machine d'essais dynamiques pour grosses charges.

Cette machine est construite uniquement pour provoquer des efforts périodiques verticaux. L'importance de ces efforts peut être accrue de telle sorte que l'on peut faire des essais de fatigue sur des ponts jusqu'à provoquer

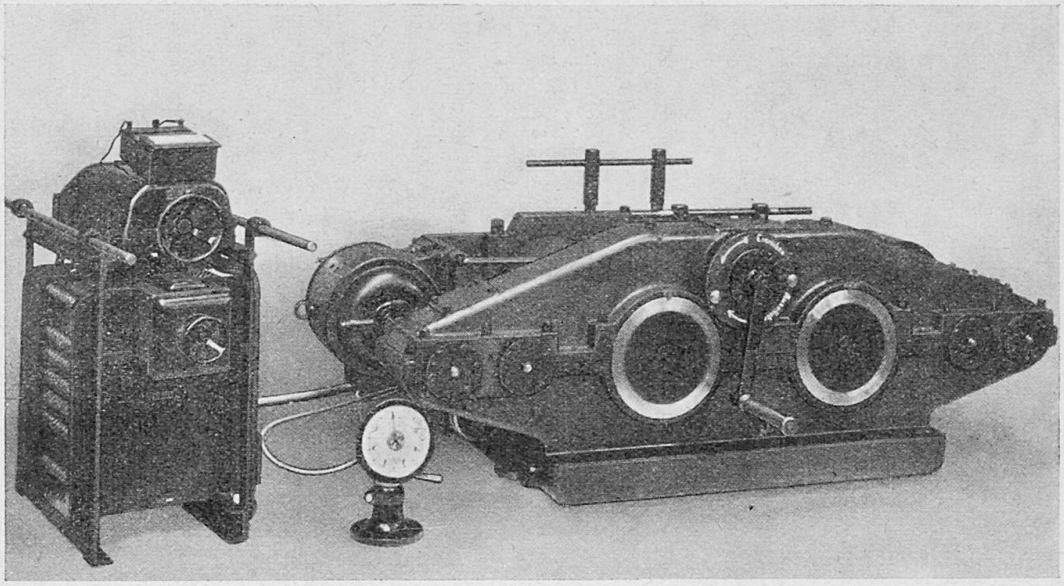

Fig. 6

la rupture. Il est possible par conséquent de rechercher systématiquement les facteurs à envisager dans la construction des ponts, facteurs qui, à l'heure actuelle, sont encore quelquefois très obscurs. Citons par exemple au point de vue des matériaux, le mode d'assemblage, soudure ou rivure, ainsi que d'autres facteurs. Des essais dynamiques des ponts peuvent également être éxécutés dans un but de réception. Les machines peuvent être mobiles ou stationaires, suivant les nécessités. Dans un chassis très robuste (Fig. 6) en acier sont disposées deux masses très pesantes travaillant excentriquement, l'éxcentricité peut être réglée à volonté. Les masses sont mises en mouvement par deux moteurs, à l'aide d'un système d'engrenages, et tournent en sens contraire. Un contrôleur régulateur sert au réglage du nombre de tours, un tachymètre et un wattmètre complètent l'installation.

Machines d'essais dynamiques pour l'examen des terrains.

Ces machines servent aux recherches sur les phénomènes dynamiques dans les fondations, elles servent à la détermination des valeurs dynamiques

des assises, des conditions dans lesquelles se font les tassement, des vitesses de propagation des vibrations, de l'amortissement et de la rupture.

Pour faciliter le transport de la machine la toute dernière construction (Fig. 7) prévoit le montage de l'appareil sur un véhicule qui peut être accroché à un tracteur. La machine proprement dite comporte une caisse rectangulaire posée sur le véhicule, ce qui permet de poser facilement l'appareil à l'endroit voulu.

La machine consiste essentiellement en un coffre fermé hermétiquement à la poussière et à la pluie, qui contient les arbres pour la mise en marche de 4 disques réglables, un moteur spécial courant continu, avec système d'engrenages.

On peut augmenter la masse de la machine dans des limites considérables par l'adjonction de poids supplémentaires. En outre la surface d'appui

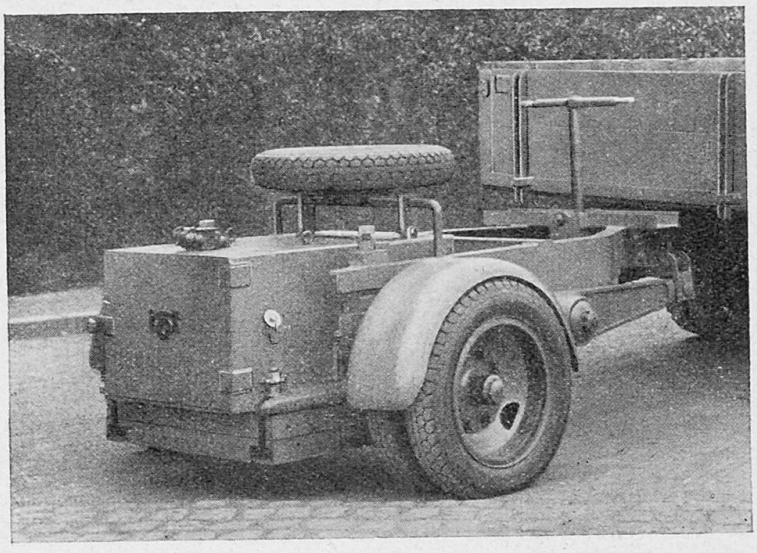

Fig. 7

de la machine peut être choisie à volonté, grâce à des dispositifs spéciaux. La commande de la machine s'effectue à partir d'une boîte qui contient le démarreur et les résistances pour le réglage du moteur. L'installation est complétée par un tachymètre de précision et par un wattmètre (14).

Des essais effectués avec un tel appareil (13) par la Société allemande pour l'Etude des Terrains montrent très exactement que chaque terrain a des oscillations critiques et un tassement critique. On peut donc dire avec raison que de telles recherches dynamiques concernant les terrains etc., auront une importance pratique très grande dans l'avenir, car des intérêts considérables sont en jeu dans la construction des bâtiments, des digues ou des barrages par exemple.

Machines d'essais dynamiques pour l'examen des navires.

Pour caractériser les progrès effectués dans les recherches des constructions techniques de toute sorte nous mentionnerons qu'une machine a été construite actuellement, qui prévoit des masses rotatives pesant chacune 3 tonnes et une force motrice de 30 kilowatts. La machine (Fig. 8) est capable

de produire une force centrifuge de 20 tonnes avec une rotation de 2 tours par seconde seulement. Le poids total de la machine est d'environ 25 tonnes.

La construction de la machine est semblable aux autres. Elle possède deux masses excentriques, qui sont actionnées par l'intermédiaire d'un système de transmission interchangeable par deux moteurs. La machine est destinée à provoquer des déformations oscillatoires sur un navire, pour étudier le comportement dynamique du corps du navire.

Les quelques exemples qui précèdent et qui sont tirés d'un grand nombre de cas montrent que les opérations de mesure, qui sont la raison d'être des machines d'essais aux oscillations, deviennent de plus en plus fréquents dans

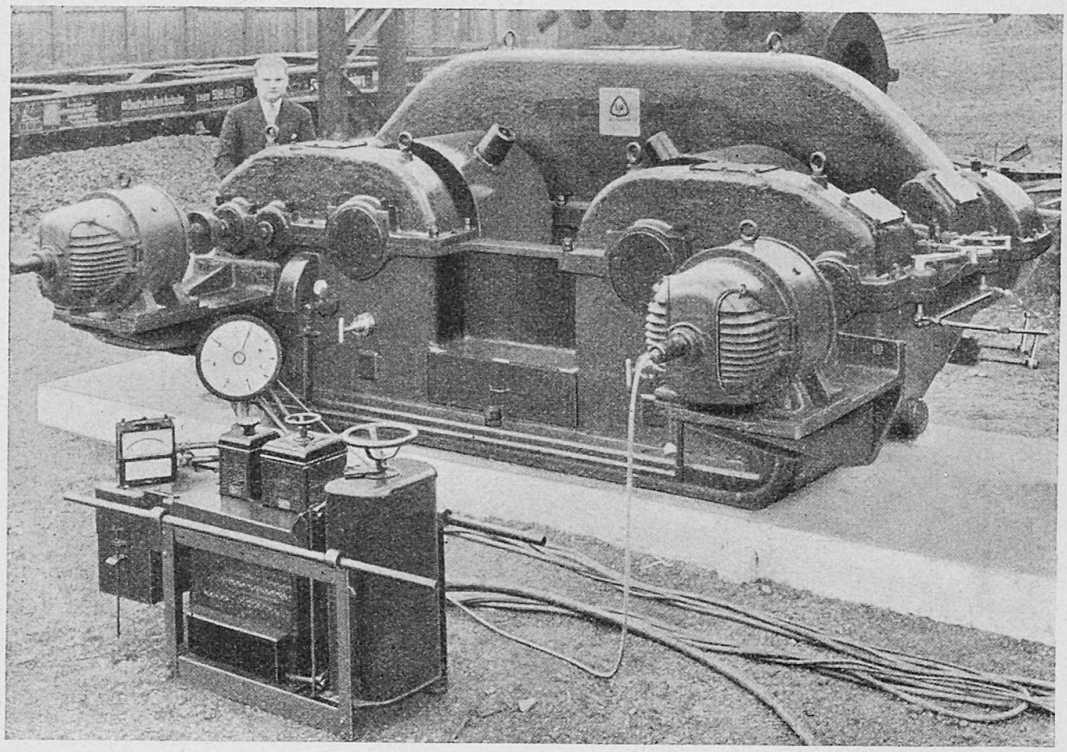

Fig. 8

les différents domaines de la technique. Les essais qui sont en cours actuellement dans un grand nombre de cas laissent espérer que des questions très importantes de nature différente et surtout des questions concernant la construction des ponts, seront bientôt résolues.

Références.

1. W. Späth, Ing.-Archiv 2 (1931), S. 651.
2. W. Späth, Zeitschr. des Östr. Ing. u. Arch. Vereines, Heft 37/38 (1928).
3. W. Späth, Z. V. D. I., Bd. 73 (1929), S. 963.
4. R. Bernhard u. W. Späth, Der Stahblau, Beilage zur Bautechnik Heft 6 (1929).
5. R. Bernhard, Z. V. D. I., Bd. 73 (1929), S. 1675.
6. W. Hort, Die Bautechnik, Heft 3 u. 4 (1928).
7. W. Späth, Werft-Reederei-Hafen, Bd. 11 (1930), S. 92.
8. Schaper, Bautechnik, Bd. 8 (1930), S. 323.
9. R. Bernhard, Bauingenieur, Bd. 11 (1930), S. 481.
10. R. Bernhard, Die Bautechnik, Heft 1 (1931).
11. Franklin L. Everett, Mechanical Engineering, March (1931).

12. O. v. Bohuszewicz u. W. Späth, Werft-Reederei-Hafen, Bd. 12 (1931), Heft 18.
13. A. Hertwig, Der Bauingenieur, Bd. 12 (1931), S. 457.
14. W. Späth Z. V. D. I., Bd. 75 (1931), S. 83.
15. W. Späth, Monatsschrift der Internationalen Eisenbahn-Kongress-Vereinigung (Deutsche Ausgabe), Bd. II (1931), S. 771.
16. R. Bernhard, Elektroschweissung, Bd. 3 (1932), S. 1.
17. W. Späth, Z. V. D. I., Bd. 76 (1932), S. 348.

Résumé.

En partant du diagramme vectoriel, l'auteur montre tout d'abord que la théorie des oscillations forcées que subissent les bâtiments peut être présentée d'une manière très simple. Du diagramme vectoriel, on peut déduire nettement le mode d'oscillation et l'amplitude des oscillations forcées. L'auteur présente des courbes de résonance de la vitesse et de l'amplitude, pour des cas particuliers.

Les excitations sont, en pratique, produites la plupart du temps, par des efforts centrifuges; il est donc intéressant d'étudier l'influence de la relation entre ces efforts et la fréquence. L'auteur montre, à titre d'exemple, une courbe de résonance d'amplitude pour un effort augmentant comme le carré de la fréquence.

L'auteur expose en détail comment on peut exécuter les essais dynamiques à l'aide des machines de mise en oscillation et montre les larges possibilités qu'elles offrent à l'étude de différentes questions.

Il décrit enfin quelques types de machines modernes pour les essais d'oscillation et en particulier une machine destinée aux essais de ponts, une machine permettant d'exécuter des essais de fatigue sur des superstructures d'essai, un dispositif pour l'essai sur fondations et radiers; enfin, une machine pour l'étude des constructions navales, qui représente un progrès marqué.

Un exposé d'ensemble des travaux publiés depuis la présentation d'une machine de mise en oscillation au Congrès International de Vienne, en 1928, permet de se faire une idée générale des résultats déjà obtenus.

Zusammenfassung.

An Hand von Vektordiagrammen wird zunächst gezeigt, daß die Theorie erzwungener Schwingungen technischer Gebilde sich sehr einfach darstellen läßt. Aus den Vektordiagrammen kann sehr anschaulich das Verhalten der Phase und der Amplitude der erzwungenen Schwingungen entnommen werden. Es werden Resonanzkurven der Geschwindigkeit und der Amplitude im Einzelnen gezeigt.

Da die erregenden Kräfte in der Technik meist durch Zentrifugalkräfte erzeugt werden, ist es wichtig, den Einfluß der Abhängigkeit der Größe der erregenden Kraft von der Frequenz zu untersuchen. Eine Resonanzkurve der Amplitude für eine quadratisch mit der Frequenz ansteigende Kraft wird gezeigt.

Die Durchführung dynamischer Untersuchungen mit Hilfe von Schwingungsprüfmaschinen und die vielseitige Anwendungsmöglichkeit zur Klärung der verschiedensten Fragen wird im einzelnen dargelegt.

Zum Schluß werden einige moderne Schwingungsprüfmaschinen beschrieben, und zwar eine Maschine zur Untersuchung von Brücken, eine solche zur Ausführung von Dauerversuchen an Versuchs-Brückenüberbauten,

eine Einrichtung zur Untersuchung von Fundamenten und Bettungen. Eine weitere Maschine zur Untersuchung von Schiffsverbänden zeigt die inzwischen erzielten Fortschritte.

Eine Zusammenstellung der seit der Vorführung einer Schwingungsprüfmaschine auf dem Internationalen Kongreß in Wien 1928 erschienenen Arbeiten ermöglicht eine Übersicht über die bisher erzielten Ergebnisse.

Summary.

From vector diagrams the author at first shows that the theory of forced vibration of technical formation may be illustrated very simply. From the vector diagrams the relation of phase and amplitude of the forced vibrations can be very cleanly derived. Resonance curves of the speed and amplitudes are shown in details.

Since the exciting forces in practice are mostly created by centrifugal forces, it is important to investigate the influence of the dependence of the exciting force on the frequency. A resonance curve of the amplitudes is shown for a force increasing with the square of the frequency.

Carrying out dynamic investigations with the help of vibration testing machines is explained in detail, also the manifold applications for clearing up different questions.

Finally, some modern vibration testing machines are described: A machine for examining bridges, one for carrying out fatigue tests on experimental bridge members. An arrangement for examining the framing of ships shows the progress meanwhile made.

A summary of the works published since a vibration testing machine was shown at the International Congress at Vienna in 1928, allows an idea to be formed of the results obtained.