

# Dynamische Theorie des Indicators

Autor(en): **Fliegner, A.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **17/18 (1891)**

Heft 8

PDF erstellt am: **21.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-86148>

## **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.

INHALT: Dynamische Theorie des Indicators. — Drei-Phasen-Wechselstrommaschine der Maschinenfabrik Oerlikon. — XXXII. Hauptversammlung des Vereins deutscher Ingenieure zu Düsseldorf und Duis-

burg vom 17. bis 20. August 1891. — Correspondenz. — Miscellanea: Electricische Strassenbahn in Bremen. Ueber das Eisenbahnglück in Zollikofen bei Bern. Kirche in Enge bei Zürich.

### Dynamische Theorie des Indicators.

Von Prof. A. Fliegner.  
(Schluss.)

#### § 4. Die indicirte Arbeit.

Die Maschinen werden gewöhnlich nur zu dem Zwecke indicirt, die am Kolben verrichtete Arbeit zu erfahren. Bezeichnet  $F$  den Querschnitt des Maschinenkolbens,  $s$  seinen Hub, so wird für einen Hin- und Hergang auf einer Seite desselben die in Meterkilogrammen auszudrückende Arbeit gewonnen:

$$L = Ffp ds. \quad (27)$$

Unter der Annahme eines Kurbelradius  $r$  und einer unendlich langen Kurbelstange ist  $s = r(1 - \cos \varphi)$ . Setzt man hieraus  $ds$  und ausserdem  $p$  aus Glchg. (2), nur mit  $\varphi$  statt  $\omega t$ , in (27) ein, so folgt:

$$L = Fr \sum_{n=0}^{\infty} \int_0^{2\pi} (a_n \cos n\varphi + b_n \sin n\varphi) \sin \varphi d\varphi. \quad (28)$$

Die einzelnen Integrale dieser Reihe haben, abgesehen von den constanten Factors, die Formen:

$$\int_0^{2\pi} \cos n\varphi \sin \varphi d\varphi \quad \text{und} \quad \int_0^{2\pi} \sin n\varphi \sin \varphi d\varphi,$$

sie verschwinden daher sämmtlich mit einziger Ausnahme desjenigen mit  $\sin n\varphi$  für  $n = 1$ , nämlich:

$$\int_0^{2\pi} \sin^2 \varphi d\varphi = \pi. \quad (29)$$

Die am Kolben verrichtete Arbeit wird daher aus (28) einfach

$$L = Fb_1 \pi r. \quad (30)$$

Handelt es sich um eine doppelwirkende Maschine, so bedeutet  $L$  auch die Arbeit bei einer halben Umdrehung der Kurbelwelle, und dann zeigt Glchg. (30), dass der Factor  $b_1$  des Gliedes mit  $\sin 1. \varphi$  der Reihe, multiplicirt mit dem Kolbenquerschnitt, der mittleren constanten Tangentialkraft an der Kurbelwarze gleich wird.

Statt dieser gesuchten Arbeit erhält man durch den Indicator eine andere dargestellt, nämlich  $L_i = Ffp_i ds$ , oder, wenn man  $p_i$  aus Glchg. (9) einsetzt und im Uebrigen theilweise umformt, wie vorhin:

$$L_i = F \left[ r \sum_{n=0}^{\infty} \int_0^{2\pi} (A_n \cos n\varphi + B_n \sin n\varphi) \sin \varphi d\varphi + r \int_0^{2\pi} e^{-\frac{\mu \varphi}{2 M \omega}} (C_1 \cos \kappa \varphi + C_2 \sin \kappa \varphi) \sin \varphi d\varphi - \gamma \int_0^{\circ} ds + \varrho \int_0^{\circ} ds \right]. \quad (31)$$

Von den in diesem Ausdruck enthaltenen Integralen verschwindet das vorletzte mit  $\gamma$ .

Hat der Indicator constante Widerstände  $\varrho$ , so ändern dieselben bei jeder Umkehrung der Bewegung des Indicatorkolbens ihr Vorzeichen. Das letzte Glied in Glchg. (31) kann daher im Allgemeinen nicht verschwinden. Da aber  $\varrho$  jedenfalls sehr klein bleibt, so kann dieses letzte Glied keinen wesentlichen Einfluss auf  $L_i$  ausüben.

Das zweite Integral in Glchg. (31) lässt sich nur dann allgemein lösen, wenn man  $\varrho = 0$  voraussetzt, weil nur dann die beiden Constanten  $C_1$  und  $C_2$  für die ganze Zeit der Bewegung ungeändert bleiben. Da aber  $\kappa$ , s. Glchg. (9<sup>e</sup>), im Allgemeinen keine ganze Zahl ist, so fallen die  $\cos$  und  $\sin$  an der oberen Grenze nicht fort und der Ausdruck behält eine sehr unbequeme Gestalt. Ich will ihn daher hier nicht angeben, sondern nur hervorheben, dass er nicht verschwindet. Das würde natürlich ebensowenig der Fall sein,

wenn man  $\varrho$  berücksichtigen und nach jedem Stillstande des Indicatorkolbens  $C_1$  und  $C_2$  neu berechnen müsste. Hieraus folgt aber, dass man bei vorhandenen Federschwingungen die Arbeit nicht richtig erhält, wenn man nur einfach die vom Indicator aufgezeichnete Fläche ausmisst. Vor längerer Zeit habe ich einmal, ich weiss allerdings nicht mehr wo und von wem, die Behauptung ausgesprochen gefunden, der Flächeninhalt bleibe der gleiche, möge die Feder in Schwingungen gerathen oder nicht, weil solche Schwingungen schliesslich keinerlei Arbeit aufzehren oder erzeugen. Die vorliegende Untersuchung zeigt, dass diese Behauptung nicht richtig ist. Es handelt sich eben beim Indicator nicht um Verrichtung, sondern um Aufzeichnung von Arbeit.

Das erste Glied in Glchg. (31), die Reihe, entspricht hier auch der eigentlichen indicirten Arbeit, so wie sie sich bei Abwesenheit von Federschwingungen und mit Vernachlässigung von  $\varrho$  ergibt. Wie bei der Reihe Glchg. (28) verschwinden aber auch hier alle Integrale mit Ausnahme desjenigen mit  $B_1 \sin 1. \varphi$ . Daher wird

$$L_i = FB_1 \pi r. \quad (32)$$

Ob  $B_1$  grösser oder kleiner ist als  $b_1$ , lässt sich nicht allgemein angeben. Bei Kraftmaschinen aber herrscht der höchste Druck immer in der Nähe des Anfanges des Kolbenhubes, also bei kleinen Werthen von  $\varphi$ . Das erste Glied der Reihe  $p$ , Glchg. (2), muss daher eine Welle ergeben, deren Berg auch bei kleinen Werthen von  $\varphi$  liegt; es wird folglich voraussichtlich  $0 < \vartheta_1 < \frac{1}{2}\pi$  werden.  $b_1$  ist dann natürlich positiv. Da nun, wie oben nachgewiesen wurde, jedenfalls  $\vartheta_1 > \vartheta_1$ ,  $H_1 > b_1$  sein muss, so folgt, dass auch  $B_1 > b_1$  werden wird. Bei Kraftmaschinen ist also die indicirte Arbeit stets zu gross zu erwarten. Bei Arbeitsmaschinen, z. B. Pumpen, kann dagegen  $\vartheta$  einen ganz anderen Werth annehmen und sich das Verhältniss zwischen  $B_1$  und  $b_1$  umkehren. Aber auch dann kann der Indicator die Arbeit nicht genau darstellen.

Wenn man das den früheren Zahlenangaben zu Grunde liegende Diagramm, für welches sich  $b_1 = 1.48895$  ergeben hat, in dieser Richtung nachrechnet, so findet man für verschiedene minutliche Umdrehungen folgende Werthe von  $B_1$ :

Minuten-Umdrhn.:	60	120	180	240	300
$B_1 =$	1,50031	1,51246	1,52539	1,53920	1,55389
$B_1/b_1 =$	1,00763	1,01579	1,02447	1,03375	1,04361

Das letzte Verhältniss wächst nur wenig rascher als die Umdrehungszahl. Da das untersuchte Diagramm dem normalen Diagramm einer ein cylindrigen Dampfmaschine vollkommen entspricht, während bei dem der Rechnung zu Grunde gelegten Indicator ungewöhnlich grosse Massen angenommen wurden, so wird man erwarten müssen, dass bei derartigen Maschinen keine stärkeren Abweichungen als die eben gefundenen auftreten werden.

Wie sich andere Maschinen in dieser Richtung verhalten, lässt sich nicht ohne besondere Untersuchung angeben. Eine solche geht aber in jedem einzelnen Falle ohne grosse Schwierigkeiten durchzuführen, vorausgesetzt dass ein normales Diagramm ohne Federschwingungen zur Verfügung steht. Es genügt zu diesem Zwecke, die Factoren  $A_1$  und  $B_1$  der Glieder der Reihe  $p_i$  für  $n = 1$  zu bestimmen, und zwar auch auf Grund der Glchg. (25), also:

$$A_1 = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} p_i' \cos \varphi d\varphi; \quad B_1 = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} p_i' \sin \varphi d\varphi. \quad (33)$$

Da die hierbei nöthigen Curven für eine Umdrehung nur eine einzige vollständige Welle bilden, so ist diese Bestimmung durchaus genügend genau auf graphischem Wege durchführbar.

Durch Umkehrung der Gleichn. (9<sup>a</sup>) und (9<sup>b</sup>) ergibt sich ferner allgemein:

$$\left. \begin{aligned} a_n &= \frac{1}{\sigma} [(\sigma - Mn^2\omega^2) A_n + \mu n \omega B_n], \\ b_n &= \frac{1}{\sigma} [(\sigma - Mn^2\omega^2) B_n - \mu n \omega A_n], \end{aligned} \right\} \quad (34)$$

und der hier allein nöthige Werth von  $b_n$  für  $n = 1$  wird endlich:

$$b_1 = \frac{1}{\sigma} [(\sigma - M\omega^2) B_1 - \mu \omega A_1]. \quad (35)$$

$M$ ,  $\mu$  und  $\sigma$  sind Constanten des Indicators, bzw. der benutzten Feder, welche anderweitig bestimmt werden müssen. Der Quotient  $b_1/B_1$  zeigt dann, in welchem Verhältniss die wirkliche Arbeit zur beobachteten steht.

Ich habe in dieser Richtung ein Diagramm einer im Viertact arbeitenden Gasmaschine untersucht, welches mit einem normalen, leichteren Indicator abgenommen worden war.  $b_1$  ergab sich noch nicht ganz  $\frac{3}{4}$  % kleiner als  $B_1$ . Bei derartigen halbfachwirkenden Maschinen muss übrigens die Fourier'sche Reihe etwas anders entwickelt werden. Da nämlich bei denselben eine Periode der Druckänderung zwei Umdrehungen umfasst, so darf  $n$  nur um je 0,5 zunehmen, damit das erste Glied der Reihe auf zwei Umdrehungen nur eine Welle darstellt.  $A_1$  und  $B_1$  gehören dann zum zweiten Gliede, das seinerseits auf zwei Umdrehungen auch zwei Wellen entspricht. Bei der Berechnung dieser Werthe muss gleichzeitig  $\pi$  durch  $2\pi$  ersetzt werden.

Bei allgemein  $m$ -fach wirkenden Maschinen steht auch  $b_1$  nicht mehr in der vorhin gefundenen einfachen Beziehung zur mittleren constanten Tangentialkraft  $T$  an der Kurbelwarze. Vielmehr ist dann:

$$T = \frac{m}{2} F b_1. \quad (36)$$

Der Quotient  $b_1/B_1$  ist hiernach, Benutzung eines passend gewählten Indicators vorausgesetzt, jedenfalls stets nur wenig von der Einheit verschieden. Man kann daher bei gewöhnlichen Abnahmeversuchen von Maschinen die indicirte Arbeit einfach durch Ausmessen der Fläche eines guten Indicatorgrammes ohne Schwingungen bestimmen. Und das um so mehr, als bei anderen oft gleichzeitig stattfindenden Messungen ebenfalls keine grössere Genauigkeit erreichbar ist. Auch ist es entschieden zulässig, auf Grund von Indicatorgrammen unmittelbar calorimetrische Untersuchungen allgemeinerer Art anzustellen, bei denen es nur auf den wesentlichen Verlauf der Wärmeübergänge ankommt. In diesen Richtungen wird der Indicator stets ein werthvolles und unentbehrliches Hilfsmittel des Maschinen-Ingenieurs bleiben.

Dagegen zeigen die vorstehenden Entwicklungen doch, dass das Indicatorgramm durchaus kein vollkommen genaues Bild von der Zustandsänderung des arbeitenden Körpers gibt; namentlich an einzelnen Stellen können verhältnissmässig bedeutende Abweichungen auftreten. Von ins Einzelne gehenden calorimetrischen Untersuchungen darf man daher keine zuverlässigen Ergebnisse erwarten. Der Indi-

cator ist eben kein feiner physikalischer Apparat, er muss vielmehr, was seine Genauigkeit anbetrifft, mit den übrigen Messinstrumenten der Maschinen-Praxis auf die gleiche Stufe gestellt werden.

Zürich, Juni 1891.

### Drei-Phasen-Wechselstrommaschine der Maschinenfabrik Oerlikon.\*)

Nachdem sich die Arbeitsübertragung auf electricischem Wege in der Praxis allgemein eingebürgert hat, tritt nun die Frage der Kraftvertheilung auf grosse Entfernungen, speciell unter Verwerthung entlegener Wasserkräfte, mehr und mehr in den Vordergrund.

Bei solchen Anlagen wird es selbstverständlich vor Allem nöthig sein, mit erheblich höhern Stromspannungen zu arbeiten, als es bisher der Fall war. Gleichstrom erlaubt die Verwendung solcher nicht, während Wechselstrom durch seine leichte Umformungsfähigkeit hierzu ein passendes Mittel bietet.

Im Weitern muss die Möglichkeit geboten sein, auf rationelle Weise Motoren beliebiger Grösse zu betreiben. Einfacher Wechselstrom steht in dieser Beziehung gegenwärtig dem Gleichstrom nach, dagegen entspricht der sogenannte Mehrphasen-Wechselstrom durch seine Eigenschaften dieser Anforderung in vollkommener Weise.

Die Maschinenfabrik Oerlikon, welche von jeher der electricischen Arbeitsübertragung grosse Aufmerksamkeit geschenkt hat, ist nun im Begriff, mehrere Anlagen nach diesem System zu bauen. Herr C. E. L. Brown, der seit geraumer Zeit das Mehrphasen-System besonderen Studien unterzogen, hat einen Maschinentypus geschaffen, welcher in hervorragender Weise die charakteristischen Eigenschaften, die das System mit sich bringt, benützt und verwerteth.

Es gestatten nämlich die zur Erzeugung der hochgespannten Ströme nöthigen Transformatoren,

die Spannung der Maschinen ganz beliebig niedrig anzunehmen, und nachstehende Beschreibung gibt ein Bild dessen, was durch Benützung dieses Hauptmoments erreicht werden kann.

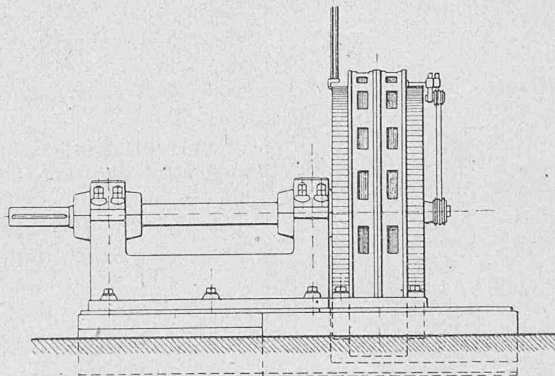
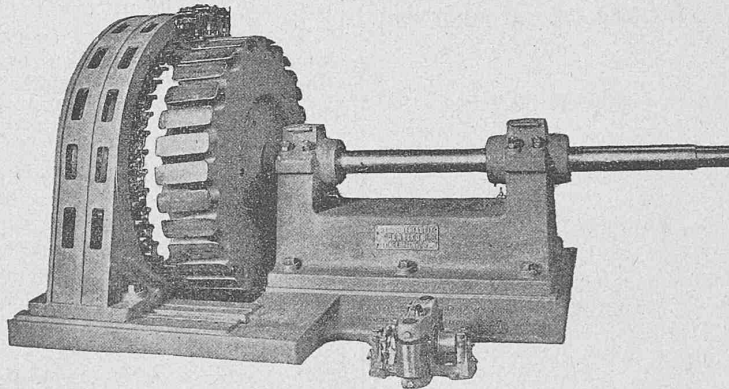
Die beistehenden Abbildungen zeigen eine Mehrphasen-Maschine, welche bei 150 Touren pro Minute 300 P. S. aufzunehmen vermag. Die Anordnung der Armatur ist derart, dass drei Wechselströme erzeugt werden, deren Phasen um 120 Grad gegen einander verschoben sind. Die Spannung eines jeden derselben beträgt nur 50 Volt und die Stromstärke je 1400 Ampère. Um die Abnahme dieser grossen

\*) Die auf der internationalen electricischen Ausstellung in Frankfurt a/M. zur Anwendung kommende Arbeitsübertragung von Lauffen nach Frankfurt a/M. zeigt einen 300-pferdigen Generator nach dem nachfolgend beschriebenen System, das dazu berufen scheint, in der Fachwelt grosses Interesse zu begegnen. Wir glauben daher mit nachfolgendem Artikel, dessen Daten uns von der Maschinenfabrik Oerlikon in verdankenswerther Weise zur Verfügung gestellt wurden, einem Theil unserer Leser willkommen zu sein.

Die Redaction.

#### Drei-Phasen-Wechselstrom-Maschine von 300 P. S.

System C. E. L. Brown. — Maschinenfabrik Oerlikon.



Aufriss. 1 : 50.