

Ein Zählmotor

Von GERHARD BORRMANN*

Aus dem Kaiser-Wilhelm-Institut für Physik, ehemals in Berlin-Dahlem

(Z. Naturforschg. 2a, 573—574 [1947]; eingegangen am 31. März 1947)

Mit dem Ziel, einen Beitrag zum Bau mechanischer Zählwerke mit zeitlich konstantem und definiertem Zählvermögen zu geben, wurde überlegt und ausprobiert, wie durch Impulse ein Drehfeld erzeugt und durch dieses ein Zeiger schrittweise bewegt werden kann.

Es ist üblich, die zum Registrieren von Teilchen dienenden mechanischen Zählwerke durch Schwinganker anzutreiben oder zu steuern¹. Zeiger in Schritten zu drehen, könnte aber eine Aufgabe für Dreh-Anker sein. Trägt etwa schon die Ankerwelle den ersten Zeiger, und wird der Anker rein elektromagnetisch beschleunigt und verzögert, so ist die Zahl der beweglichen Teile so klein wie denkbar, schlagartige Bewegungen sind vermieden, dem Verschleiß bieten sich also wenig Möglichkeiten, und als Folge davon sollte sich das Gerät durch Zuverlässigkeit, insbesondere durch konstantes Zählvermögen auszeichnen. Diese Eigenschaften verstehen sich bei stark beanspruchten Schnellzählwerken erfahrungsgemäß nicht von selbst.

Die Überlegung ging von der ältesten Form des Synchronmotors, dem La Courschen Rade, aus. Dies ist bekanntlich ein eisernes Zahnrad, welches mittels gezahnter Pole (in der Zahnteilung dem Rade gleich) in Rotation gehalten wird. Damit nun das Rad durch einen Stromimpuls um einen bestimmten Winkel, etwa eine Zahnteilung — das ist die Identitätsperiode —, gedreht werden könne, seien an seinem Umfang statt eines Magneten deren drei angebracht. Ein Rastmagnet M_1 halte, durch Gleichstrom erregt, das Rad fest. Die Zähne der Magneten M_2 und M_3 seien gegen die des festgehaltenen Rades um $\frac{1}{3}$ bzw. $\frac{2}{3}$ der Zahnteilung versetzt. Werden alle drei Magnete durch den Stromimpuls vermöge einer gemeinsamen Spule in der Weise erregt, daß in M_1 die Rastkraft aufgehoben, zur gleichen Zeit in M_2 und etwas später in M_3 Anziehung hervorgerufen wird, so setzt sich das Rad in Bewegung und be-

endet bei abklingendem Impuls den Zähler Schritt in der nächsten Rastlage. Das langsamere Anwachsen des magnetischen Flusses in M_3 besorge in gewohnter Weise eine Kurzschlußwindung.

Das nach diesem Prinzip gebaute Versuchsmodell besaß ein Rad mit 50 Zähnen, die quer zur Radebene magnetisiert wurden. Das Rad stammte aus einer Uhr, hatte 15 mm Durchmesser, seine Dicke war auf 0,3 mm reduziert worden, seine tote Masse war gering, die Achse war in Rubinen gelagert. An einer Geiger-Müller-Apparatur üblicher Bauart mit Thyatron in der Endstufe ließ der Motor sich gut betreiben. Voraussetzung war naturgemäß, beim Bau zu erreichen, daß alle Rastlagen des Rades geometrisch und damit in den Rast- und Triebkräften gleichwertig waren.

Ein schrittweise sich drehendes Feld kann auch mit Hilfe von Schaltungen erzeugt werden, die durch ihre Anwendung als Untersetzter bekannt sind, etwa mit dem Kreis des Dreifachuntersetzers². Jeder Magnet erhalte jetzt eine Einzelspule, die im Anodenkreis eines der drei Stromtore liege. In diesem Fall veranlaßt ein Impuls nur eine Drehung des Rades um $\frac{1}{3}$ der Zahnteilung, denn er bewirkt, daß der Zustand „offen“ zyklisch von einem Stromtor zum nächsten wandert. In praxi wurde der im Aufbau einfachere Kreis des Zweifachuntersetzers mit Stromtoren verwendet. Im Anodenkreis des ersten Rohres lag die Spule von M_1 , in dem des zweiten lagen die Spulen der Magnete M_2 und M_3 in Serie. Die wieder notwendige Verzögerung der Wirkung von M_3 konnte diesmal durch einen zur Spule parallel liegenden Kondensator bewirkt werden. Diese Methode ist, wie die Rechnung zeigte,

* (16) Braunfels (Lahn), Am Tiergarten.

¹ Vergl. den Bericht von H. Puppe im Arch. techn. Mess. J 076—3, Lfg. 141 [1943].

² Ringuntersetzter von C. E. Wynn-Williams, Proc. Roy. Soc. [London] A 132, 295 [1931].



gründlicher als die des Kurzschlußrings, sie erleichterte außerdem die Anpassung der elektromagnetischen Trägheit des Zählwerks an die mechanische. Der Anker und damit auch der erste Zeiger drehten sich jetzt in 100 Zählritten einmal herum.

Wie auch der Antrieb vor sich gehen mag, immer muß nach einem Impuls die Schwingung des Rades um die neue Rastlage rasch zum Stillstand gebracht werden, damit ein auf den ersten Impuls sogleich folgender zweiter die gleichen Anfangsbedingungen vorfindet; es zeigte sich nämlich, daß andernfalls der Zeiger auch nach rückwärts springen kann. Gebremst wurde durch eine achsial auf die Motorwelle drückende Feder, deren einstellbaren Druck der eine Lagerstein aufging. Bei passender Reibungskraft folgte das Rad Impulsfrequenzen zwischen $\nu = 0$ und $\nu_{\max} = 1/\tau$ (mit τ als Auflösungsvermögen des Zählmotors in sec) ohne Fehler. ν in der Nähe von ν_{\max} war das Resonanzgebiet, in dem das Rad die Raststellen passierte, ohne ganz zum Stillstand zu kommen. Man würde sich wünschen, eine von der Geschwindigkeit abhängige Reibung einführen zu können, um den Grenzfall der aperiodischen Bewegung zu realisieren. Mit einer Wirbelstrombremse etwa würde auch die eingangs aufgestellte Forderung, der Anker solle *rein* elektromagnetisch verzögert werden, sich ganz erfüllen lassen.

Zum wohldefinierten Teilchenzählen gehört nicht nur, daß ein Zählwerk im Bereich $\nu \leq \nu_{\max}$ allen Tempi folgt, sondern auch, daß es oberhalb ν_{\max} eine Regel hat, beispielsweise stillsteht. Gilt letzteres, so ist im Fall statistisch verteilter Impulse die Zählcharakteristik gegeben durch $N = N_0 e^{-N_0 \tau}$ (worin N die Zahl der registrierten, N_0 die Zahl der ankommenden Impulse je sec bedeutet)³. In Wirklichkeit folgt aber im allgemeinen bei steigender Impulsfrequenz auf den Bereich fehlerlosen Registrierens zunächst ein mehr oder weniger ausgedehnter zweiter, in dem ein Zählwerk stottert. Es wurde versucht, das undefinierte Zählen durch geeignete Anpassung der

elektromagnetischen Schwingungsdauer des Antriebskreises an die mechanische des Zählwerks zu unterbinden. Die Variation der Zeitkonstante gelang bei dem Antriebskreis mit zwei Röhren besser als bei dem üblichen Kreis mit einem Thyatron. Wurde Rückkopplung übers Kreuz hinzugenommen, so ließ es sich erreichen, daß der Kippkreis für neu eintreffende Impulse während der Dauer eines Zählstritts unempfindlich blieb. Überschritt nun die Impulsfrequenz den Wert ν_{\max} , so blieb das Zählwerk zwar nicht stehen, aber es zählte regelmäßig, nämlich etwa (theoretisch genau) mit $\nu = \frac{1}{2} \nu_{\max}$. Im Fall statistisch verteilter Impulse ist unter diesen Umständen nicht die oben angegebene theoretische Zählcharakteristik zu erwarten, sondern eine wesentlich davon verschiedene, die aber auch der Rechnung zugänglich ist.

An den Motor war ein Zeigerwerk gekoppelt, dessen Zahnräder eine im Vergleich zum Anker geringe Trägheit hatten, und dessen gesamte Reibung im Vergleich zur Bremskraft sehr klein war, so daß das ursprüngliche Zählvermögen des Motors erhalten blieb. Bei Anodenströmen von 6 bis 7 mA und noch nicht gesättigtem Eisen hatte das Zählwerk in der Zweiröhrenschaltung ein Auflösungsvermögen von etwa $1/200$ sec. Nachdem das Zählwerk, wie erwähnt, zunächst ohne Zählrohr geprüft worden war, indem regelmäßige Impulsfolgen, die entweder vom selbst- oder fremderregten Antriebskreis kamen, registriert wurden, hat es in einem Versuchsbetrieb von einigen Wochen Dauer auch Teilchen befriedigend gezählt. Über Einzelheiten und Bewährung von Zählmotor, samt Antriebskreis soll zu gegebener Zeit berichtet werden.

Hr. Institutsmechaniker W. Borchardt hat das Werk gebaut.

Nach Abfassung dieser Mitteilung (im Nov. 1944) erhielt Verf. Kenntnis von einer noch unveröffentlichten Arbeit J. Schintlmeisters, in der das selbe Thema variiert wird; ihr verdankt er den Hinweis auf H. Wögerbauers Bericht über Schrittmotoren⁴, worin ein anderes Drehankerprinzip beschrieben ist.

³ H. Volz, Z. Physik **93**, 539 [1935].

⁴ Siemens-Z. **20**, 55 [1940].