

Parallelschalten von Batterie und Dynamo eine über das normale Maß der Dynamo wesentlich hinausgehende Energieabgabe erreichen. Eine Anordnung, wie sie bei Verwendung von Dynamo und Akkumulatoren-batterie besonders in kleineren Anlagen üblich ist, zeigt Fig. 400. Die Schaltung dürfte ohne weiteres verständlich sein. Der *Rückstromschalter* 6 schaltet die Dynamo 4 selbsttätig ab, falls ihre Spannung etwa unter die der Batterie sinken, also die Batterie sich auf die Maschine entladen sollte.

IV. Meßinstrumente.

Elektrotechnische Meßinstrumente sind Instrumente zur Bestimmung gewisser elektrischer Größen, deren Kenntnis für jeden elektrischen Betrieb von höchstem Wert ist, nämlich der in Ampere gemessenen Stromstärke, der in Volt ausgedrückten Spannung und der in Watt gemessenen Arbeit oder Leistung, die sich als Produkt aus Stromstärke und Spannung darstellt. Man unterscheidet demnach Stromzeiger (*Amperemeter*), Spannungszeiger (*Voltmeter*) und Leistungszeiger (*Wattmeter*). Hierzu kommen noch die *Zähler*, die den elektrischen Energieverbrauch messen.

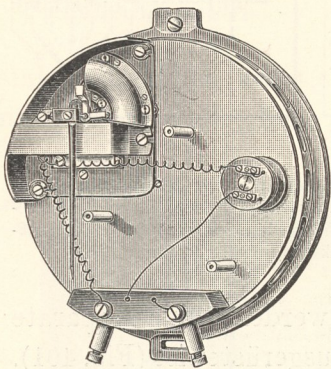


Fig. 403.

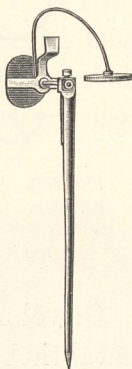


Fig. 404.

Fig. 403. Aperiodischer Stromzeiger (Siemens & Halske), zerlegt. Fig. 404. Bewegliches System eines aperiodischen Stromzeigers.

1. Strom-, Spannungs- und Leistungszeiger.

Die einfachsten *Stromzeiger* bilden Instrumente, bei denen das im Innern einer stromdurchflossenen Spule vorhandene magnetische Feld einen Kern aus weichem Eisen beeinflusst. Durch eine Vorrichtung, die den Eisenkörper stets in die Gleichgewichtslage zurückzuführen sucht, beispielsweise durch ein Gewicht, das beim Verlassen der Gleichgewichtslage zu heben ist, erhält man ein zur Strommessung geeignetes System.

Einen nach diesem Prinzip von Siemens & Halske A.-G., Berlin, hergestellten Stromzeiger zeigt Fig. 403. Ein mit einem Zeiger verbundener und in Saphiren drehbar gelagerter Weicheisenkern (Fig. 404) trägt an einem hakenförmig gebogenen Drahte eine kleine Scheibe, die sich in einem gekrümmten Rohr bewegt. Der Zwischenraum zwischen dem Scheibenrand und der inneren Rohrwandung beträgt nur etwa 0,5 mm, so daß die Scheibe bei ihrer Bewegung durch die Luftreibung eine starke Dämpfung erfährt. Wird die Spule vom Strom durchflossen, so dreht sich das exzentrisch zur Achse befestigte Eisenplättchen so weit, bis sein Gewicht der elektromagnetischen Kraft das Gleichgewicht hält, und der Zeiger gibt auf einer geeichten Skala die entsprechende Stromstärke an. Gegen äußere Beeinflussungen durch Starkströme ist das ganze System mit Eisenblech umgeben. Ein derartiges Instrument läßt sich ebensogut für Gleichstrom wie für Wechselstrom verwenden, denn der Eisenkern wird bei beiden Stromarten in die Spule hineingezogen. Jedoch muß die Skala für Wechselströme besonders geeicht sein, wobei zu beachten ist, daß verschiedene Periodenzahlen den Zeigerausschlag verschieden beeinflussen.

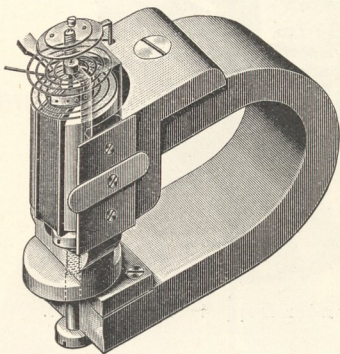


Fig. 405. Präzisionsstromzeiger, zerlegt (Siemens & Halske).

Die Ablenkung einer Spule durch einen Magneten nach dem Prinzip Deprez d'Arsonval oder *Drehspulensystem* benutzen Instrumente, deren Mechanismus Fig. 405 zeigt: Ein flacher kräftiger Magnetstab ist so umgebogen, daß seine Pole einander gegenüberstehen. In der Figur ist nur die eine (rechte) Hälfte des Magnetstabes sichtbar, die andere ist der größeren Anschaulichkeit halber fortgelassen. Die beiden Pole des Magnets besitzen massive Polschuhe (nur der rechte ist sichtbar) mit halbzylindrischem Ausschnitt. Zwischen den Polschuhen bleibt ein zylindrischer Raum frei für einen eisernen Hohlzylinder, der rings von den Wandungen der Polschuhe einen 2 mm

breiten Abstand hat. In dem hierdurch geschaffenen Zwischenraum dreht sich die bewegliche Spule. Sie besteht aus zahlreichen Windungen dünnen Kupferdrahtes, die von einem in Edelsteinen gelagerten Aluminiumrahmen gestützt werden. Die Wickelungsenden sind an zwei Spiralfedern befestigt, die der Stromzuführung dienen und gleichzeitig die Gegenkraft für die magnetischen Wirkungen des Kraftlinienfeldes bilden, indem sie Spule und Zeiger in der Nulllage zurückzuhalten suchen. Die Wirkungsweise des Instrumentes ist folgende: Die im Felde des permanenten Magnets drehbar gelagerte Spule hat bei Stromdurchgang das Bestreben, sich so einzustellen, daß ihre Kraftlinien mit denen des Magnetfeldes parallel und in gleicher Richtung verlaufen. Die Spule wird also eine zu den Kraftlinien des Magnetfeldes senkrechte Lage einzunehmen suchen. Die Spiralfedern wirken dieser Bewegung entgegen. Die Stellung der Spule und des Zeigers kennzeichnet mithin die jeweilige Gleichgewichtslage, wobei der Zeigerausschlag der betreffenden Stromstärke proportional ist. Dieses System hat den Vorzug, daß Spule und Zeiger sich fast aperiodisch (d. h. ohne Hin- und Herschwingen) einstellen und die Skalenteilung über die ganze Skala hinweg gleichmäßig ist. Nach ihm bauen fast alle größeren Fabriken sogenannte *Präzisionsinstrumente*. Durch die Spule darf nur ein sehr schwacher Strom hindurchfließen (höchstens 0,15 Ampere). Die Instrumente können daher niemals direkt in den Stromkreis eingeschaltet, sondern müssen an einen Parallelwiderstand, auch *Shunt* genannt, von geringer Ohmzahl gelegt werden.

Stromzeiger werden mit der Maschine oder den Stromverbrauchern, deren Strom gemessen werden soll, in Reihe geschaltet. Da indessen durch diese Anordnung (Fig. 406) infolge der hohen Ströme häufig sehr starke Zuleitungen zu den Meßinstrumenten erforderlich wären, so werden die meisten Stromzeiger, besonders die für große Stromstärken, in den Nebenschluß zu einem Widerstand (Shunt) von bestimmter Größe gelegt. Die Schaltung ist aus dem in Fig. 407 dargestellten Beispiel ersichtlich: Drei Bogenlampen sollen einen Strom von 15 Ampere verbrauchen. Der Stromzeiger selbst habe einen Widerstand von 1 Ohm, der Widerstand des Shunts betrage $\frac{1}{99}$ Ohm. Dann fließt nach dem Gesetz von der Stromverzweigung durch den Shunt ein Strom von 14,85 Ampere, während der im Nebenschluß liegende eigentliche Stromzeiger nur $\frac{1}{99}$ dieses Betrages, d. i. 0,15 Ampere, führt, einen Strom, den z. B. das oben beschriebene Präzisionsinstrument gerade noch vertragen würde. Die Instrumentenskala würde in diesem Falle natürlich für 15 Ampere geeicht werden.

Je kleiner man den Widerstand des Shunts macht, desto größere Ströme kann man mit dem Instrumente messen. Die Präzisionsinstrumente von Siemens & Halske erhalten normal für Ströme bis 50 Ampere eingebaute, darüber hinaus getrennte Shunts. Fig. 408 zeigt einen Stromzeiger genannter Firma für 100 Ampere; Fig. 409 veranschaulicht den zugehörigen Shunt, Fig. 410 einen Shunt für 1500 Ampere. Sein Widerstand beträgt $\frac{1}{9999}$ Ohm; durch den zugehörigen Stromzeiger würde mithin maximal wiederum ein Strom von nur 0,15 Ampere gehen.

Die besprochenen Stromzeiger lassen sich auch als *Spannungszeiger* verwenden, nur ist die Skala dann in Volt zu eichen. Da der für die Spannungsmessung benutzte Strom, wie aus Schalt-schema Fig. 411 hervorgeht, für den Nutzstrom verloren ist, so muß der Meßstrom so klein wie

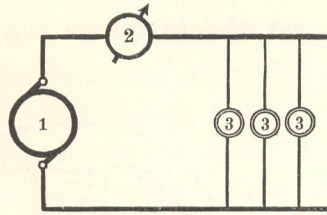


Fig. 406. Schaltung eines Stromzeigers.
(1 Dynamo, 2 Stromzeiger, 3 Bogenlampen, 4 Shunt.)

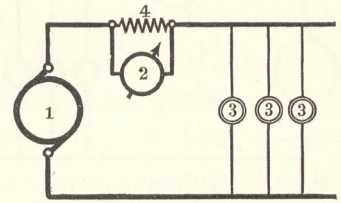


Fig. 407. Schaltung eines Stromzeigers mit Shunt.

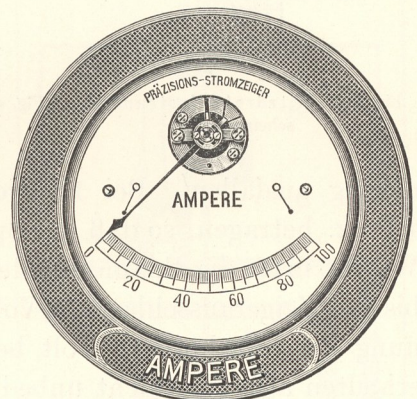


Fig. 408. Präzisionsstromzeiger für 100 Ampere (Siemens & Halske).

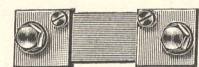


Fig. 409. Shunt des Präzisionsstromzeigers Fig. 408.

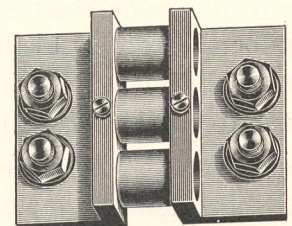


Fig. 410. Shunt für 1500 Ampere.

möglich gehalten werden. Spannungszeiger erhalten daher einen Widerstand aus vielen Windungen dünnen Drahtes, Stromzeiger dagegen nur wenige Windungen dicken Drahtes. Während die Angaben der Stromzeiger durch Temperaturänderungen nicht merkbar beeinflusst werden, müssen bei Spannungszeigern Vorkehrungen getroffen werden, um das System gegen Wärmeschwankungen praktisch unempfindlich zu machen. Zu diesem Zwecke stellt man die Spule aus einem Metall mit möglichst kleinem Temperaturkoeffizienten her. Unter dem Temperaturkoeffizienten versteht man die Widerstandszunahme (in Prozent), die 1 Ohm pro 1 Grad Temperaturerhöhung erfährt. Der Temperaturkoeffizient des Kupfers beträgt nun 0,4, d. h. der Widerstand wächst pro Grad Temperaturerhöhung um 0,4 Proz. Bei 2,5° Temperaturerhöhung ändert sich der Widerstand einer Kupferspule demnach schon um $2,5 \cdot 0,4$, d. h. 1 Proz. Die Angaben eines damit ausgerüsteten Spannungszeigers würden also 1 Proz. zu

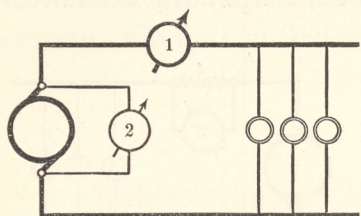


Fig. 411. Schaltung von Strom- und Spannungszeiger. (1 Stromzeiger, 2 Spannungszeiger.)

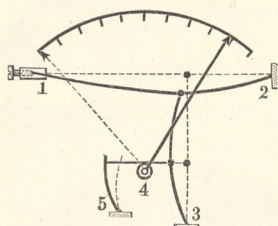


Fig. 412. Hitzdraht-Instrument, schematisch.

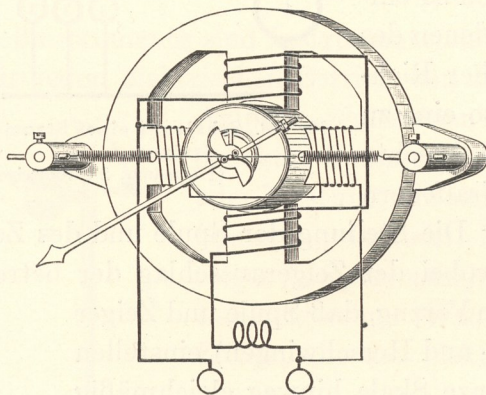


Fig. 413. Ferraris-Instrument, zerlegt (Siemens & Halske).

niedrig ausfallen. Bei 10 Proz. Temperaturerhöhung würde der Fehler im Ausschlag schon 4 Proz. betragen, so daß der Spannungszeiger z. B. statt 110 Volt nur 105,6 Volt angeben würde. Würde man die Spannung der Maschine jetzt so weit hinaufregulieren, bis der Zeigerausschlag 110 Volt beträgt, so würde die tatsächliche Spannung bereits über 115 Volt betragen; etwa angeschlossene Glühlampen erhielten also eine nicht unbedenkliche Überspannung. Daher stellt man nur einen kleinen Teil des Widerstandes, nämlich die das System betätigende Spule, aus Kupferdraht her, den größeren Teil jedoch aus Manganindraht, den man in Form eines Vorschaltwiderstandes anordnet. Durch die Verwendung von *Manganin*, einer Legierung aus Kupfer, Nickel und Mangan mit sehr kleinem Temperaturkoeffizienten, erreicht der Temperaturkoeffizient des Gesamtwiderstandes einen Wert, der praktisch unberücksichtigt bleiben kann. Das vorstehend über den Spannungszeiger Gesagte gilt auch für Stromzeiger mit Shunt, da beide Meßinstrumente auf demselben Prinzip beruhen.

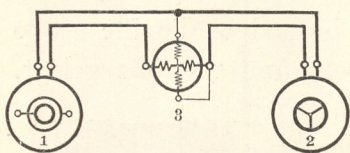


Fig. 414. Schaltung eines Leistungszeigers für Wechselstrom. (1 Generator, 2 Motor, 3 Leistungszeiger.)

Eine dritte Art von Instrumenten, die *Hitzdrahtinstrumente*, beruhen auf der Wärmewirkung des elektrischen Stromes. Ihre Einrichtung ist aus Fig. 412 zu erkennen: Ein aus einer Platin-Silberlegierung bestehender, 0,06 mm starker Draht ist an seinen beiden Enden 1 und 2 fest eingeklemmt. Etwa in seiner Mitte ist ein nichtstromführender Messingdraht von 0,05 mm Durchmesser befestigt, dessen anderes Ende bei 3 festgeklemmt ist. Von der Mitte des zweiten Drahtes führt ein Kokonfaden, der um eine kleine Rolle 4 geschlungen ist, zur Feder 5, welche die Drähte stets gespannt hält. Die gestrichelten Linien in Fig. 412 zeigen den stromlosen Zustand. Wird der Platindraht von einem Strom durchflossen, so dehnt er sich infolge der Erwärmung aus (ausgezogene Linien der Fig. 412); der von der Feder ausgeübte Zug bewirkt eine Ausbuchtung beider Drähte. Dabei wird Rolle 4, auf

Fig. 415. Schaltung von Meßinstrumenten in Verbindung mit Meßtransformatoren. (1 Leistungszeiger, 2 Stromzeiger, 3 Spannungszeiger, 4 Spannungstransformator, 5 Stromtransformatoren, 6 Drehstromgenerator, 7 Maximalausschalter [statt Sicherungen], 8 Trennschalter.)

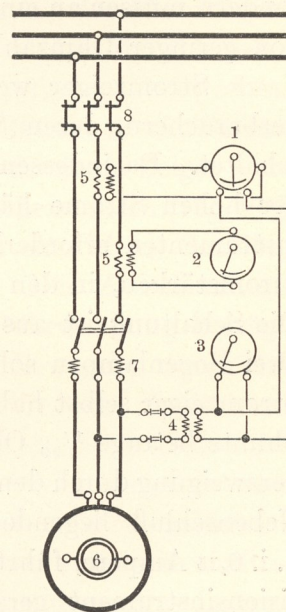


Fig. 415. Schaltung von Meßinstrumenten in Verbindung mit Meßtransformatoren. (1 Leistungszeiger, 2 Stromzeiger, 3 Spannungszeiger, 4 Spannungstransformator, 5 Stromtransformatoren, 6 Drehstromgenerator, 7 Maximalausschalter [statt Sicherungen], 8 Trennschalter.)

deren Achse ein Zeiger befestigt ist, gedreht. Hat man die Zeigerstellung für verschiedene Stromstärken ermittelt und die Skala entsprechend geeicht, so kann man das Instrument zu Messungen benutzen. Um dasselbe von der Temperatur der umgebenden Luft unabhängig zu machen, ist die Platte, worauf der Hitzdraht ausgespannt ist, nach dem Prinzip der Kompensationspendel aus zwei Metallen (Messing und Eisen) zusammengesetzt, so daß der Ausdehnungskoeffizient der Platte dem des Hitzdrahtes gleich ist.

Leistungszeiger gelangen hauptsächlich in Wechsel- und Drehstromnetzen zur Verwendung. In Gleichstromnetzen macht das Bestimmen der Leistung keine Schwierigkeiten; man erhält sie durch Multiplikation der an Meßinstrumenten abgelesenen Strom- und Spannungswerte. Bei Wechselstrom würde eine derartige Messung aber nur die scheinbare Leistung (vgl. S. 169) wiedergeben, den Leistungsfaktor hingegen unberücksichtigt lassen. Eines der gebräuchlichsten Schalttafelinstrumente für Leistungsmessungen in Wechsel- und Drehstromnetzen ist das von Siemens & Halske hergestellte *Ferraris-Instrument*: Strom und Spannung

wirken auf ein feststehendes System von zwei Spulen, deren Achsen senkrecht aufeinander stehen (Fig. 413). In den Stromkreis der Spannungsspule ist eine Selbstinduktion eingeschaltet, die den Strom der Spannungsspule gegen die an den Spannungsklemmen des Instrumentes wirkende Spannung um 90° verzögert. Infolgedessen entsteht, ähnlich wie gelegentlich des Einphaseninduktionsmotors besprochen ist, ein Drehfeld. Dieses lenkt eine innerhalb der Spulen angeordnete, mit Zeiger versehene Aluminiumtrommel so weit aus ihrer Nulllage ab, bis die Zugkraft einer der Ablenkung entgegenwirkenden Spiralfeder der vom Drehfeld ausgeübten gleichkommt. Fig. 414 zeigt das Schaltschema eines Leistungszeigers für Wechselstrom.

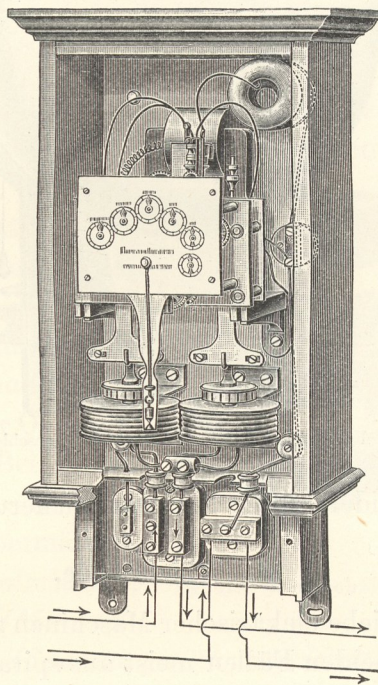


Fig. 416. Uhrzähler von Aron.

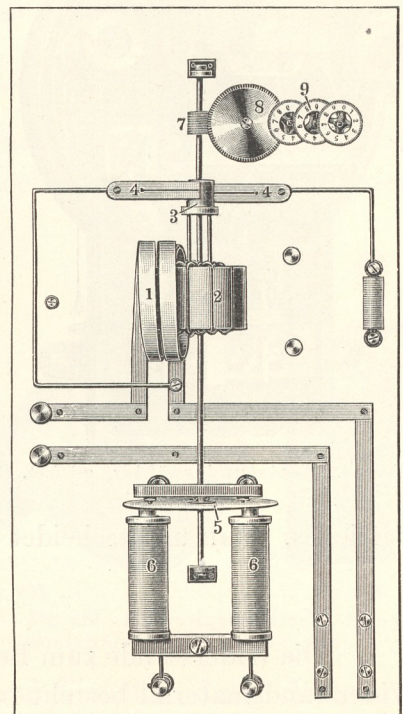


Fig. 417. Prinzip des Motorzählers (A.E.G.).

Sollen hochgespannte Ströme aus Meßinstrumenten ferngehalten oder die Führung von starken Kupferschienen zu den Instrumenten vermieden werden, so legt man die Meßinstrumente an die Sekundärseite kleiner Meßtransformatoren (vgl. S. 180), wobei die Schaltung der Fig. 415 entspricht.

2. Zähler.

Die Zähler haben das Produkt aus Spannung und Stromstärke zu ermitteln. Behält die erstere, wie in Beleuchtungsanlagen, stets den gleichen Wert, so genügt es, die Strommenge zu zählen, die in einer gewissen Zeit an die Verbrauchsstelle geliefert wurde; durch Multiplikation mit der bekannten Netzspannung erhält man dann die gelieferte Leistung in Watt. Derartige Zähler nennt man *Amperestundenzähler*.

Der Uhrzähler von Aron (Fig. 416) besteht aus zwei Pendeln gleicher Schwingungsdauer, von denen jedes, wie bei Pendeluhrn, ein Uhrwerk betreibt. Während das eine Pendel in normaler Weise schwingt, wird der Gang des anderen von einer stromdurchflossenen Spule beeinflusst. Um nach Verlauf einer bestimmten Zeit den Stromverbrauch zu bestimmen, braucht man nur festzustellen, wieviel die beeinflusste Uhr in bezug auf die normale nachgeht. Diese Differenz wird selbsttätig von einem Differentialgetriebe auf ein Zählwerk übertragen.