

(Patente 111 578, 147 398). Für die Empfangstechnik, bei der ebenfalls die gekoppelten abgestimmten Kreise sich von Nutzen erwiesen, brachten die verschiedenen Detektoren, insbesondere der Kontaktdetektor, in Verbindung mit verschiedenen konstruktiven Verbesserungen wesentliche Fortschritte. Das Ende des Funkensenders war gekommen, als es 1900 Duddell gelang, mit dem Lichtbogensender ungedämpfte Schwingungen zu erzeugen. Durch Verwendung eines Lichtbogens in Wasserstoff und eines magnetischen Gebläses durch Poulsen (Patent 162 945) war auch die Erzeugung großer Energien möglich geworden. Damals (1906) erreichte der Funkensender durch die Erfindung der Löschfunkenstrecke (Patent 198 592) durch M. Wien seine größte Vollkommenheit. Um dieselbe Zeit begannen die Versuche, mit Hochfrequenzmaschinen elektrische Wellen zu erzeugen, bis es 1908 Goldschmidt (Patente 208 260, 208 551, 208 552, 235 869) mittels des sogenannten Reflexionsprinzips gelang, genügend hohe Frequenzen zu erhalten. Die praktische Verwendung der Hochfrequenzmaschine ist in neuerer Zeit durch die Einführung des Frequenztransformators wesentlich gefördert worden, der aus den einfachsten Formen, mit denen die Namen Epstein, Joly und Valauri verknüpft sind, zu großer Vollkommenheit entwickelt wurde. Einen neuen, kräftigen Anstoß erfuhr die Hochfrequenztechnik durch die Erfindung der Dreielektrodenröhre, die in der Empfangstechnik als Audion den Detektor ersetzt hat und als Verstärker heute unentbehrlich geworden ist. In der Sendetechnik stellt sie das einfachste und beste Mittel zur Erzeugung ungedämpfter Schwingungen dar, nachdem Meißner durch Rückkopplung (Patent 291 604) den Röhrensender geschaffen hatte.

Neben der Entwicklung der Sende- und Empfangstechnik läuft die der Richtungsstelegraphie mit ihren Anwendungsgebieten her. Wellenspiegel wurden schon von Herz benutzt. Mit Spiegel- oder Abschirmantennen neben der eigentlichen Antenne wurden 1900 von Zenneck eingehende Versuche angestellt, während Braun im Jahre 1905 mehrere räumlich getrennte Antennen benutzte, die mit phasenverschobenen Strömen erregt wurden (Patent 182 051). Auch die ersten Richtempfangsversuche hat Braun im Jahre 1902 ausgeführt. In neuester Zeit hat die Rahmenantenne eine erhebliche Bedeutung als Richtantenne erlangt. Zu erwähnen sind noch die von Zehnder und Kiebiß angegebenen Erdantennen.

Zu den wichtigsten Anwendungsgebieten der Richtungsstelegraphie gehört die drahtlose Ortsbestimmung. Die ersten Radiogoniometer wurden von Artom und Bellini-Tosi angegeben. In der drahtlosen Telephonie konnte eine erfolgreiche Entwicklung erst einsetzen, nachdem es gelungen war, ungedämpfte Schwingungen genügender Stärke zu erzeugen. So

sind Lichtbogen sender, Hochfrequenzmaschinen und Röhrensender die wichtigsten Hilfsmittel auch der drahtlosen Telephonie geworden. Neben der Schwingungserzeugung spielt hier die Art der Schwingungsbbeeinflussung (Modulation) die wichtigste Rolle. Von den zahlreichen Modulationsverfahren sind vor allem zu erwähnen die Gittergleichstrommodulation für Röhrensender (Patent 386 942) und die Pungssche Drosselsteuerung (Patente 281 440, 410 675). Die drahtlose Telephonie erreicht ihren derzeitigen Höhepunkt der Entwicklung im Rundfunk und in der drahtlosen Übersee-Telephonie. Für die Erzeugung und Steuerung der großen Schwingungsenergien, wie sie für die Übersee-Telephonie erforderlich sind, ist vor allem die Einseitenbandmodulation (Patent 361 966) von ausschlaggebender Bedeutung.

Von den Erfindungen auf dem Gebiet der elektrischen Großmaschinen hat die dem Amerikaner Ward-Leonard durch das Patent 77 266 im Jahre 1894 geschützte Schaltung zum nahezu verlustlosen Regeln von Elektromotoren die größte Bedeutung erlangt. Sie ist heute unter dem Namen Leonard-Schaltung allgemein bekannt und beruht darauf, daß der Arbeitsmotor im wesentlichen nur durch Änderung der Erregung des ihn mit Strom versorgenden Generators geregelt wird. Für Walzenzug- und Förderbetriebe hat sich ferner die Kombination der Leonard-Schaltung mit einem Schwungradausgleich als wirtschaftlich sehr vorteilhaft erwiesen, auf die Karl Igner im Jahre 1903 das Patent 138 440 erhielt. Die Stromlieferung an den Arbeitsmotor erfolgt hier nicht unmittelbar, sondern über einen Motor-Generator, der mit entsprechenden Schwungmassen gekuppelt ist. Die Regelung von Dynamomaschinen stark veränderlicher Drehzahl auf gleichbleibende Spannung (von einer Wagenachse angetriebene Zugbeleuchtungsdynamos, Windkraftdynamos o. dgl.) gelang in einfacher und sinnreicher Weise Rosenberg im Jahre 1915 durch Erfindung der sogenannten Querselddynamo (Patente 161 459 und 178 053). Diese Maschine, bei der die Hauptbürsten unter den Feldpolen liegen und das induzierende Feld durch ein quer zu ihnen stehendes, kurzgeschlossenes Hilfsbürstenpaar im Anker erzeugt wird, liefert bei einem konstanten äußeren Widerstand einen nahezu konstanten Strom oder konstante Spannung bei stark veränderlicher Drehzahl, ohne daß besondere Hilfs-erregewicklungen oder Regelvorrichtungen erforderlich sind. Die Querselddynamo ist im Laufe der Zeit nach den verschiedensten Richtungen hin als Generator, Motor, Umformer, Dreileitermaschine usw. weiter ausgebildet worden.

Die Stromwendung bei Kommutatormaschinen wurde durch die Anordnung von Hilfspolen oder Wendepolen zwischen den Hauptpolen wesentlich verbessert, und zwar zuerst von Menges im Jahre 1884

(Patent 34 465). Die Wendepole werden in der Regel durch einen dem Ankerstrom proportionalen Strom derart erregt, daß sie das Ankerfeld in der Wendezone aufheben. Das Patent von Menges blieb zunächst unbeachtet; erst geraume Zeit später hat man den Wert solcher Pole genauer erkannt und sie weiter verbessert, wovon zahlreiche Patente Zeugnis ablegen.

Auf dem Gebiet der elektrischen und magnetelektrischen Kleinmaschinen haben die Beleuchtungsmaschinen für Fahrzeuge und Fahrräder, die von der Achse oder Felge eines Rades angetrieben werden, große Verbreitung gefunden. Ihre Regelung findet in verschiedener Weise statt. Fast immer wird jedoch die Wirkung der Fliehkraft dazu benutzt, etwa einen magnetischen Nebenschluß zu verstellen oder Schaltvorrichtungen in Tätigkeit zu setzen, welche die Erregung ändern oder die Ankerwicklung teilweise unterbrechen oder kurzschließen. Wo diese Beleuchtungsmaschinen mit einem das Fahrzeug antreibenden Verbrennungskraftmotor gekuppelt sind, werden sie in der Regel auch gleichzeitig als Zündmaschine und Anwurfmotor ausgebildet.

Zu Anfang dieses Jahrhunderts begann der Wechselstrom dem Gleichstrom den Vorrang streitig zu machen; heute hat er auf dem Gebiet der elektrischen Kraftübertragung die unbestrittene Herrschaft erlangt. Ein wichtiger Teil dieses Kampfes spielte sich vor dem Patentamt ab, und die große Anzahl der auf dem Wechselstromgebiet erteilten Patente beweist seine Schärfe.

Unter den Wechselstromerzeugern wurde der raschlaufende synchrone Drehstrom- und Wechselstromgenerator mit umlaufendem Magnetrad und stillstehendem Anker für unmittelbare Kupplung mit Dampf- und Wasserturbinen vorherrschend. Neben verbesserter Wärmeabführung und Isolierfestigkeit galt hier die Erfindertätigkeit vor allem erhöhter Materialausnutzung bei gleichzeitig verringerten Energieverlusten und der Sicherung der Maschinen gegen die zerstörende Wirkung plötzlicher Kurzschlüsse durch vergrößerte magnetische Streuung der Wicklungen und durch eine kräftige mechanische Versteifung. Einen bedeutsamen Fortschritt brachte die Ausbildung des unterteilten Ankerleiters, die es ermöglichte, die in der einzelnen Maschine umsetzbare Leistung ganz beträchtlich zu erweitern (Patente 259 879, 277 012, 294 023, 312 053, 388 844).

Die vielfach noch beibehaltene Verteilung der elektrischen Energie in Form von Gleichstrom brachte auch für den Bau der Umformmaschinen neue Aufgaben mit sich. Das Auffinden einfacher und brauchbarer Verfahren zum Anlassen und Synchronisieren von der Wechselstromseite aus sowie von Mitteln, um die Maschine gegen Stromstöße unempfindlich zu machen (Patente 195 199, 203 646, 381 828, 187 647, 290 230), eroberten

dem Wechsel- oder Drehstrom-Gleichstrom-Einankerumformer ein immer größeres Gebiet. Eine bemerkenswerte Neuerung brachte der Kaskadenumformer vom Jahre 1903 (Patent 145 434), der den besonderen Vorzug bietet, daß die Drehzahl und damit die Polzahl niedriger gehalten werden kann als beim gewöhnlichen Einankerumformer. Der letzte große Fortschritt auf dem Gebiet der technischen Wechselstrom-Gleichstromumformung war die Entwicklung des Quecksilberdampf-Großgleichrichters mit Eisengefäß, der berufen erscheint, für höhere Gleichspannungen den Maschinenumformer zu verdrängen.

Nachdem der Drehstrommotor mit dem an Einfachheit kaum zu übertreffenden Käfiganker (Patent 51 083) schon um 1890 erfunden war, wandten sich die Erfinder den Wechselstrommotoren mit regelbarer Geschwindigkeit zu, die besonders als Einphasenmotoren für den elektrischen Bahnbetrieb gefordert wurden. Neben der Weiterbildung des Induktionsmotors (Polumschaltung, Kaskadenschaltung mehrerer Motoren) ging die Entwicklung des bis dahin fast unbeachteten Kommutatormotors für Wechselstrom einher, die in zahlreichen Patenten ihren Ausdruck fand und auch heute noch nicht abgeschlossen ist. Maschinen, die seinerzeit Gegenstand zahlreicher Anmeldungen waren, z. B. der kompensierte Repulsionsmotor, gehören bereits der Geschichte an; Erfindungsgedanken, die jahrelang vergessen waren, gewinnen von neuem Bedeutung und sind Gegenstand erbitterten Patentstreites. Die mehrphasige Kommutatormaschine wird zur Zeit in Verbindung mit dem altbewährten Induktionsmotor (Kommutator-Kaskaden, z. B. nach den Patenten 144 576, 148 305, 169 453, 177 270) sowohl zur Regelung der Geschwindigkeit, als zur Aufhebung der Phasenverschiebung vor allem benutzt.

Handelt es sich um die Verbesserung des Leistungsfaktors allein, so werden solche Aggregate in neuester Zeit in zunehmendem Maße auch als reine Blindleistungsmaschinen ohne Abgabe mechanischer Leistung an Stelle der bisher hierfür gebräuchlichen Einankerumformer- und synchronen Blindleistungsmaschinen verwendet; besondere Bedeutung haben die Blindleistungsmaschinen als Mittel zur selbsttätigen Spannungsregelung ausgedehnter Wechselstromnetze hoher Spannung erlangt.

Das Vorhandensein von Wechselstromnetzen verschiedener Phasen und Frequenz und deren aus Gründen der Wirtschaftlichkeit und Betriebssicherheit oftmals gebotene unstarre Kupplung haben zur Ausbildung einer völlig neuen Maschinengattung, der Phasenzahl- und Periodenumformer geführt. Hand in Hand mit der Ausbreitung der Wechselstromnetze ging die Verbesserung der Betriebseigenschaften und der Ausnutzung des Materials der Transformatoren. Ein wichtiger Fortschritt wurde zu Anfang dieses Jahrhunderts durch die Einführung der legierten Bleche erzielt, die nicht

nur die Eisenverluste wesentlich verringerte, sondern gleichzeitig eine höhere Eisensättigung und damit eine bessere Materialausnutzung ermöglichte. In der Folge erstreckte sich die Erfindertätigkeit vor allem darauf, die Kühlmethoden zu verbessern und die Leistungstransformatoren auch für die höchsten Betriebsspannungen (220 000 Volt) betriebsicher zu gestalten. Der Weg vom selbstbelüfteten Transformator zum modernen Großtransformator mit künstlicher Kühlung wird gekennzeichnet durch die Patente 145 443, 290 167 und 365 015; der Aufbau der Wicklung in isoliertechnischer Hinsicht beruht auf dem im Patent 193 522 erstmalig für Transformatoren angegebenen Isolierprinzip sowie dem Patent 292 565. Der sprungwellen- und kurzschlußsichere Aufbau der Transformatoren wurde durch die Patente 262 251, 251 229 und 407 196 maßgebend beeinflusst.

Die beiden Hauptarten der elektrischen Lichtquellen, nämlich die Bogenlampe, zurückgehend bis auf Davy (1800/1812) und Ritter (1801), sowie die Glühlampe — Groves Platindrahtglühlampe (1845), Heinrich Goebels Kohlefadenglühlampe (1855) — sind in ihrer Grundform um Jahrzehnte älter als das deutsche Patentgesetz. Wenn sich das elektrische Licht nicht früher schon in größerem Umfange Bahn zu brechen vermochte, obgleich das Bedürfnis dazu vorlag, so beruhte dies nur zum Teil auf den Schwierigkeiten der Lampenherstellung. Auch die selteneren, später für die Glühlampe verwendeten Stoffe waren schon lange vor Grove bekannt, nämlich Wolfram (1783), Molybdän (1790), Tantal und Iridium (1802), Osmium (1803). Doch bestand zunächst das Haupthindernis darin, daß man für die Speisung der Lampen noch auf die zu unwirtschaftlichen galvanischen Elemente angewiesen war. Auch nach dem Auftauchen der elektrischen Glühlampe hielt man sich vorerst mehr an die Bogenlampe, da ihr stärkeres Licht für Leuchttürme, Theater, öffentliche Straßen- und Platzbeleuchtung vorteilhafter war, und für diese Sonderzwecke die Kostspieligkeit der damaligen Stromerzeugung eher in Kauf genommen werden konnte. Zudem krankte die elektrische Glühlampe anfänglich an ihrem hohen spezifischen Energieverbrauch. Als schier unüberwindlicher Wettbewerber stand wirtschaftlich dem elektrischen Lichte bei dieser Sachlage das schon seit dem Jahre 1792 als Zentralbeleuchtung dienende Leuchtgas gegenüber. So ist es erklärlich, daß nach den ersten Anfängen besonders für das elektrische Glühlicht ein nahezu vollständiger Stillstand der praktischen Entwicklung eintrat. Erst 1878 wurde das anders, seitdem Edison das Patent 12 174 erwirkt hatte und die Kohlefadenlampe zur Geltung brachte.

Bei der Bogenlampe betreffen die meisten Erfindungen das Regelwerk, als den praktisch schwierigsten Teil; sie sind überwiegend baulicher Art. An mehr grundsätzlichen und den eigentlichen Lichtbogen angehenden Erfindungen

seien herausgehoben: die Jablochhoff-Kerze (Patent 663), die Flammbogenlampe von H. Bremer (Patent 116 213), die Elektrolyt-Bogenlampe von E. Rasch (Patent 117 214), die Quecksilberdampflampe von Arons vom Jahre 1892 (Cooper Hewitts Patent 140 364) und die Wolfram-Bogenlampe (Patent 287 967). Die Kohlebogenlampe trat im Laufe dieses Jahrhunderts mehr in den Hintergrund, teils weil ihr in der Quecksilberdampflampe für Heilzwecke und in der Leuchtröhre für Effekt- und Reklamezwecke Mitbewerber erstanden, teils weil die Glühlampe kräftig an Boden gewann.

Die elektrische Glühlampe, die ihrer äußeren Form nach so überaus einfach erscheint, hat bis zu dem heutigen Grade ihrer Vollkommenheit ganz ungewöhnliche Schwierigkeiten zu überwinden gehabt. Die Kohlefadenlampe hatte 1881 einen spezifischen Wattverbrauch von etwa 5,8 W/NK; 1888 betrug er etwa 3,5 W/NK und blieb hernach bei etwa 3,3 W/NK dauernd stehen. Mit diesem spezifischen Wattverbrauch konnte die elektrische Glühlampe auf die Dauer wirtschaftlich gegen das 1886 von Auer v. Welsbach erfundene Gasglühlicht nicht aufkommen. Im Jahre 1904 verbesserte Whitney durch seinen metallisierten Kohlefaden die Ökonomie der Lampe auf etwa 2,5 W/NK, immerhin ein erheblicher Fortschritt, auf Grund dessen diese Lampe noch bis ums Jahr 1918 tatsächlich im Handel blieb, der aber das Schicksal der Kohlefadenlampe auf die Dauer doch nicht aufhalten konnte. Die Umkehr von ihr und damit der Übergang zur modernen Metallfaden- und nachherigen Metalldrahtlampe vollzog sich mit der Erfindung der Osmium-Lampe mit etwa 1,5 W/NK durch Auer v. Welsbach (Patent 138 135). Ihr folgten die Tantal-Drahtlampe (Patent 154 527) mit ihrem Vorteile der guten Ziehbarkeit des Metalles und einem Wattverbrauche von etwa 1,8 W/NK, die Herstellung des Fadens aus Wolfram oder Molybdän (Patent 154 262), insbesondere Wolfram (Patent 194 348) und endlich das Wolfram-Ziehverfahren (Patent 269 498). Inzwischen waren noch die Halbwattlampe (Patent 290 932) und ihre bemerkenswerten Nebenformen entstanden: die Jablochhoff-Glühlampe (Patent 1630), die Nernst-Lampe, die in ökonomischer Hinsicht anfangs viel versprach, die Leuchtröhre (Patent 150 095), die heute dank ihrer Farbenpracht als Reklamelampe eine große Rolle spielt, und die Glimmlichtlampe (Patent 389 830), die hauptsächlich ihres geringfügigen Wattverbrauchs wegen als kleine Nachtlampe und für gewisse Signalzwecke dient.