



## DEN ELEKTRISKA STRÖMMEN

Den del av elektricitetstekniken som vi här närmast skola sysselsätta oss med, omfattar den s. k. dynamiska elektriciteten eller läran om elektriska strömmar.

När vi tala om elektrisk ström, ligger det nära till hands att tänka på andra strömmar, t. ex. en vattenström i en rörledning eller en värmeström i en ledningstråd av metall.

Huru uppkommer en vatten- eller värmeströmning?

För att en strömning skall komma till stånd, måste det i en vattenledning finnas en *tryckskillnad* och vid en värmeström en *temperaturskillnad*, och ju större denna skillnad är desto större kvantitet vatten eller värme passerar då genom ett tvärsnitt på ledningen.

På samma sätt uppkommer en elektrisk ström i en ledning, om mellan två punkter på denna förefinnes en tryckskillnad (potentialskillnad), som i detta fall kallas för elektromotorisk kraft eller *elektrisk spänning*, och vilken uppmätes i en praktisk enhet, som kallas *volt*.

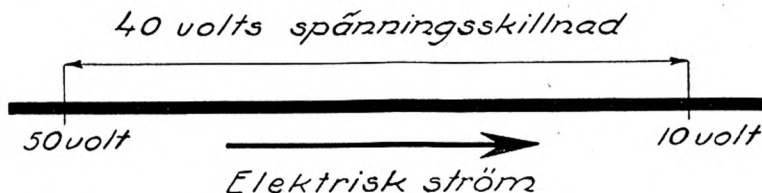


Bild 1

Den elektriska strömmen flyter därvid från den högre spänningen till den lägre. Ju större denna spänningsskillnad är,

desto större blir den elektriska strömmängd, som under för övrigt lika förhållanden flyter fram genom ledningen.

Vid spårvägen är spänningsskillnaden mellan kontakttråden och skenorna i gatan c:a 550 volt.

Strömmen i en ledare är bestämd genom sin riktning och sin styrka. Denna mätes i en praktisk enhet, som benämnes *ampère*.

Vid likriktade strömmar är det tre storheter att taga hänsyn till; nämligen spänning, strömstyrka och motstånd.

De två förstnämnda hava vi redan sysslat med, och skola nu se vad ledningsmotståndet har för betydelse för den elektriska strömmen och spänningen.

Det förhållande, i vilket dessa tre storheter stå till varandra, uttryckes i den s. k. ohmska lagen, som säger, att den strömstyrka, som en bestämd spänning förmår att pressa fram genom en ledning, är beroende på motståndet i denna ledning.

$$\text{Strömstyrkan} = \frac{\text{Spänningen}}{\text{Motståndet}}$$

Är motståndet stort, så blir strömstyrkan liten, och tvärtom.

Motståndet mätes i en praktisk enhet, som kallas *ohm* ( $\Omega$ ) Som enhet för densamma är antaget motståndet i en kvicksilverpelare av 106,3 cm. längd och 1 kvadratmillimeters sektionsarea vid 0° temperatur.

Ledningsmotståndet är beroende på den metall, som användes i ledningstråden, och utmärker sig särskilt koppar för sitt ringa motstånd mot den elektriska strömmens genomgång. Järn däremot har ungefär tio gånger så stort motstånd som koppar.

En lednings dimensioner, d. v. s. sektionsarea och längd, äro även bestämmande för ledningsmotståndet. Upphettas ledningen, ökas även dess motstånd.

För att få en mera bestämd uppfattning om de tre enheterna volt, ampère och ohm, skola vi studera några exempel.

Spänningen på en vanlig glödlampa är i Göteborg 120 volt. Detta tryck erfordras för att genom lampans lystråd,

som har ett motstånd av 480 ohm, pressa in elektrisk ström av sådan styrka, att tråden glöder och utstrålar ljus.

$$\text{strömstyrkan} = \frac{120}{480} = \frac{1}{4} \text{ ampère.}$$

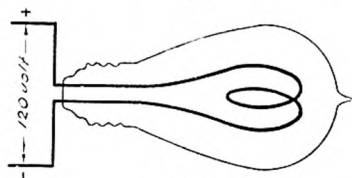
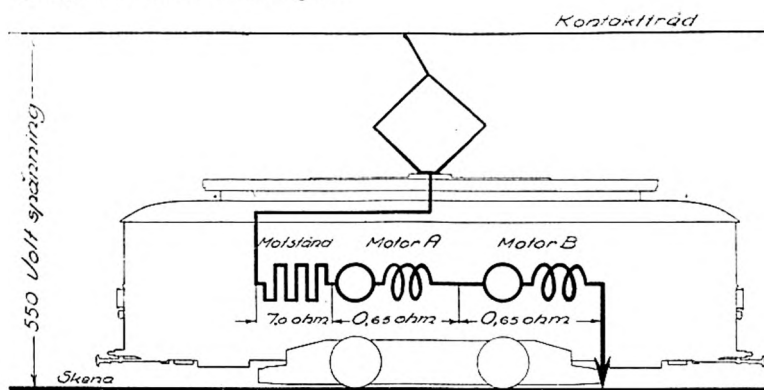


Bild 2

Spänningsskillnaden mellan spårvägens kontakttråd och ske-  
na är 550 volt. Är motståndet i motorvagnens elektriska ut-  
rustning tillsammans 8,3 ohm, så förmår spänningen om 550  
volt att genom detta frampressa en strömstyrka, som enligt  
ohmska lagen blir

$$\text{strömstyrkan} = \frac{550}{8,3} \approx 67 \text{ ampère.}$$

Denna strömstyrka är lämplig, för att vagnen skall sätta sig  
igång med önskad hastighet.



$$7,0 + 0,65 + 0,65 = 8,3 \text{ ohm}$$

Bild 3

Ovanstående uppgifter angiva förhållandet å motorvagn n:r  
150. Det ohmska motståndet i reglermotståndet än 7,0 ohm,  
och i vardera motorn 0,65 ohm.

*Spänningsfall.* Den elektriska ström, som går fram i en ögrenad ledning, är av samma styrka i hela ledningen. När denna ström flyter fram genom ledningen, så sjunker samtidigt spänningen i denna, allt efter storleken av de ohmska motstånd, som finnas i ledningens olika delar.

Detta spänningsfall, som mätes i volt, är således lika med produkten av strömstyrkan och motståndet.

Spänningsfallet = strömstyrkan  $\times$  motståndet.

En strömstyrka av 10 amp. åstadkommer således ett spänningsfall av 20 volt, när den passerar ett motstånd på 2 ohm.  
 $10 \times 2 = 20$  volt.

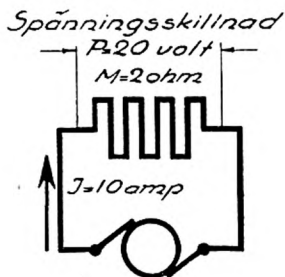


Bild 4

Vore motståndet 4 ohm, så hade spänningsfallet blivit det dubbla, eller 40 volt.

Om flera motstånd kopplas efter varandra, *i serie*, så blir det totala motståndet lika med summan av de enkla motstånden, och summan av alla spänningsfallen lika med energikällans spänning. Vi begagna oss av detta förhållande vid startningen av motorvagnar, i det att vi tillföra vagnens motorer olika höga spänningar, dels genom spänningsfallet i ett motstånd, som småningom urkopplas genom kontrollern, dels genom serie- och parallellkoppling av motorerna.

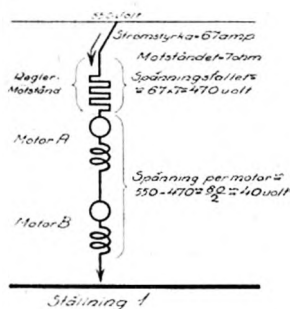


Bild 5

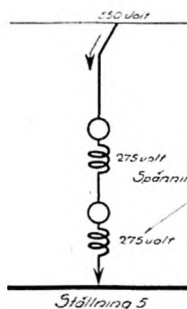


Bild 6

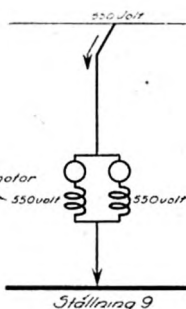


Bild 7

**Elektrisk effekt.** Ju starkare strömstyrka som går genom motorerna, desto större är den effekt, som förbrukas. Vid likriktad ström är effekten lika med produkten av spänning och strömstyrka, och mätes i en enhet watt (W).

$$\text{Watt} = \text{volt} \times \text{ampère.}$$

Wattförbrukningen enligt det föregående exemplet blir således

$$550 \times 67 = 36850 \text{ W.}$$

Enär en watt är en ganska liten enhet, så användes vid större effektbelopp enheten kilowatt (kW) som är lika med 1000 W.  
 $36850 \text{ W} = 36,85 \text{ kW.}$

**Elektriska arbetet eller energien.** Ju längre tid som effekten uttages, desto större är det utträttade arbetet.

Det elektriska arbetet erhålles av produkten av effekten och den tid, uttryckt i timmar, under vilken den uttages, samt mätes i wattimmar (Wh) respektive kilowattimmar (kWh).

Priset för en kWh vid 550 volt spänning är för närvarande hos oss 8 öre.

# MAGNETISM

En stålstång kan göras magnetisk genom att man på lämpligt sätt för en magnet längs efter densamma. Den magnetiska kraften i en på dylikt sätt framställd magnetstång är koncentrerad till magnetens ändar. Dessa kallas för magnetens poler och hava den egenskapen att draga till sig mindre föremål av järn och stål. Detta förklaras bero på att innan stålstången blev magnetiserad så lågo alla stålstångens smådelar som var för sig anses vara en liten s. k. molekyelmagnet i oordning om varandra och åstadkommo således ingen samlad verkan, men genom magnetiseringen blevo småmagneterna vridna i en bestämd riktning. I mera kolhaltigt järn (stål) bibehålla småmagneterna dessa nya lägen, och vi hava fått en permanent magnet. I mjukt järn däremot återtaga de flesta

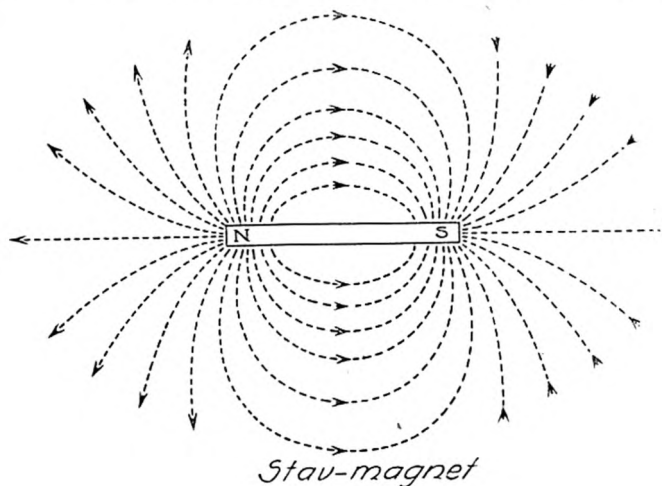


Bild 8

småmagneterna de lägen de hade innan de blevo ordnade genom inverkan av den magnetiserande kraften utifrån, och järnet blir ånyo omagnetiskt. Ett fåtal småmagneter kvarbliva

dock som regel i sina nya lägen. Den härvid alstrade s. k. re-  
manenta eller kvarblivande magnetismen spelar, som vi skola  
se, en stor roll vid elektrisk bromsning.

Magnetpolernas verkningar sträcka sig ut i rymden, som om-  
giver magneten, och kallar man den del av rymden, i vilken  
magnetiska krafter kunna påvisas, för ett *magnetiskt fält*.

Detta är starkast i närheten av magnetpolerna. Inom detta  
fält förekomma magnetiska krafter som hava en viss styrka  
och en viss riktning, vilken kan påvisas medels en magnetnål.  
Det magnetiska fältet tänkes bestå av s. k. kraftlinier, som  
bilda slutna banor, vilka angiva det magnetiska fältets styrka  
och den magnetiska kraftens riktning.

Vore en liten magnetnål fritt rörlig i det magnetiska fältet,  
så skulle magnetnålen inställa sig i kraftliniernas riktning.

*Magneternas polaritet.* Om en magnetnål upphänges så att  
den kan vrida sig obehindrat, en s. k. kompassnål, så inställer  
den sig i en bestämd riktning, norr-söder.

Den inställer sig i den så kallade magnetiska meridianen, och  
man har enats om, att kalla den av magnetnålens poler, som  
är vänd mot norr för magnetens nordpol, och den som är vänd  
mot söder för dess sydpol. Den kraft, som inställer magnet-  
nålen är den jordmagnetiska kraften. Man har vidare enats  
om, att anse kraftliniernas riktning utgå från magnetens  
nordpol.

Vi sågo, att magnetnålen intog en bestämd ställning norr-  
söder. Detta läge störes, om en annan magnet föres i närhe-  
ten på så sätt, att denna magnetpols nordpol repellerar (bort-  
stöter) den förras nordpol, men attraherar (drager åt sig) dess  
sydpol.

*Elektriska strömmars magnetiska verkningar.* År 1820 upp-  
täckte dansken Örsted att även en strömförande ledning, som  
fördes över eller under magnetnålen, påverkade denna, så att

nålen avvek åt ena eller andra sidan från sitt jämviktsläge i magnetiska meridianen. Denna verkan beror på, att kring en strömförande ledning bildas ett magnetiskt fält, som påverkar

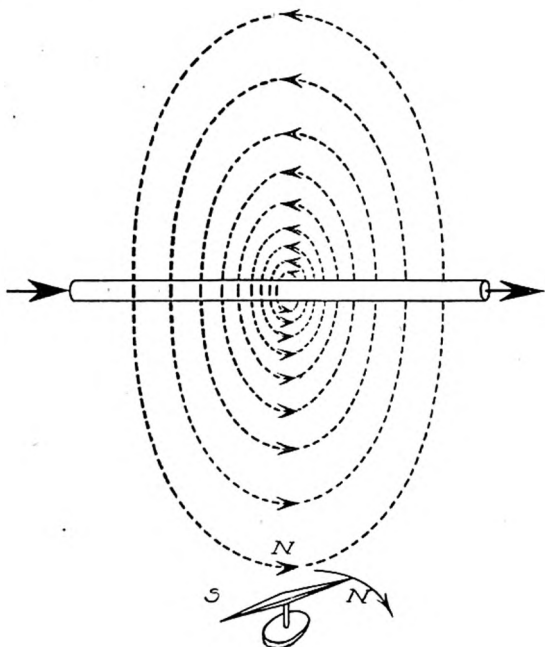


Bild 9

magnetnålen på samma sätt, som den permanenta magnetens fält gjorde. Kraftlinierna, i det kring ledaren som medelpunkt bildade fältet, har en bestämd riktning i förhållande till strömmens riktning i ledaren och påverkar med en viss kraft magnetnålen. Kraften (fältstyrkan) avtager med avståndet från ledaren.

*Kraftfältets riktning.* Blickar man längs ledaren i strömmens riktning, så äro kraftlinierna riktade åt samma håll, som visarne gå på ett ur, se bild 10.



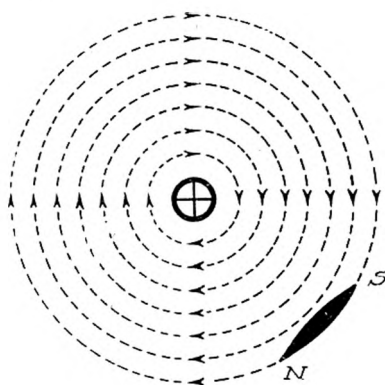


Bild 10

Böja vi ledaren i en slinga, så se vi, att kraftlinierna gå in genom ena sidan och ut genom den andra, se bild 11. Denna

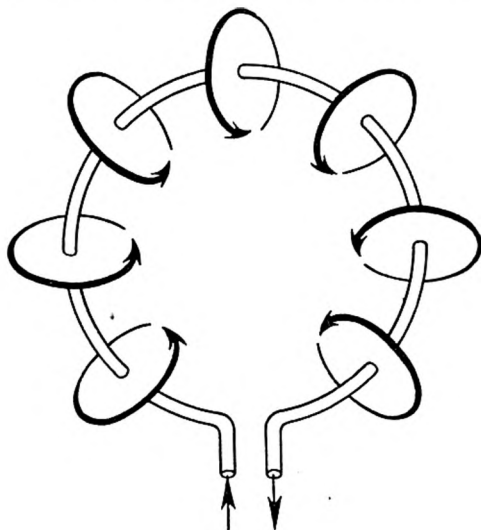
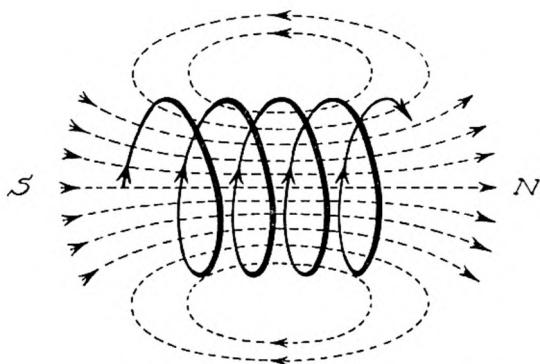


Bild 11

blir då nordpol i överensstämmelse med stål magneten. Upplinda vi flera varv intill varandra, få vi en s. k. solenoid eller

spole, se bild 12, och man kan experimentellt påvisa, att det i en dylik spole uppkomna magnetiska kraftlinieflödet (fältstyrkan) är proportionellt mot antalet lindningsvarv på spolen och mot strömstyrkan i densamma. Denna, den s. k. magnetomotoriska kraften, mätes därför i *ampèrevarv*.



*Magnetmotoriska krafter = MMK*  
*MMK = Ampere × Lindningsvarv*

*Bild 12*

Liksom den elektromotoriska kraften driver fram en elektrisk ström genom en ledning, så driver den magnetomotoriska kraften (MMK) eller ampère-varven fram kraftlinieflödet i en magnetisk strömkrets.

Upphänges en solenoid, genom vilken en ström ledes, på samma sätt som en magnetnål, så att den är fritt rörlig, så inställer solenoiden sig med sin axel i den magnetiska meridianen.

Närmar man den mot norr pekande ändan av solenoiden en magnetnåls nordpol, så repelleras solenoiden.

En solenoids *polaritet* bestämmes sålunda: Blickar man längs solenoidens axel, och den elektriska strömmen flyter i lindningarna i samma riktning som visarne på ett ur, så är den närmast ögat liggande ändan av solenoiden en sydpol, se bild 12.

*Järn i ett magnetiskt fält. Magnetisk induktion.* Är solenoiden upplindad på en järnkärna så erhålles för samma strömstyrka ett mycket kraftigare magnetiskt fält; järnet synes erbjuda ett mindre motstånd för kraftlinierna än luften.

Denna järnets förmåga att lättare leda kraftlinierna kallas för järnets permeabilitet och är för mjukt smidesjärn ända till 3500 gånger så stor som för luft.

För samma sorts järn är permeabiliteten ej konstant, utan avtager densamma med ökad induktion. För samma spole ökas induktionen med amp.-styrkan intill en viss gräns, vid vilken järnet ej kan genomsläppa flera kraftlinier, man säger då att järnet är mättat. Vi skola senare se vad detta betyder för en bannmotors hastighet och dragkraft.

Låta vi strömstyrkan i solenoiden minskas, så avtager den magnetiska induktionen, och när strömmen är noll, så kvarstår en del magnetism, s. k. remanent magnetism, i järnet. Denna är hos mjukt järn c:a 6 %, hos härdat stål c:a 55 %.

Det magnetfält, som alstras av en elektromagnet, utnyttjas vid spårvägen på flera sätt.

Med detsammias tillhjälp omläggas spårväxlar, utlösas maximalströmbrytarne å motorvagnarne och kraftstationen, släckes ljusbågar i kontrollerna och drives motorvagnarne medels motorerna.

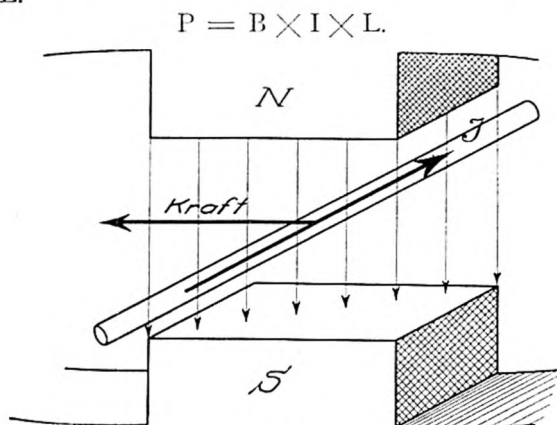
---

## Elektromagnetisk kraft.

Befinner sig en strömgenomfluten rörlig ledare i ett magnetiskt fält, så kommer ledaren att sätta sig i rörelse med en viss kraft  $P$ , vars storlek är beroende av:

1. Det magnetiska fältets styrka,  $B$ ,
2. Strömstyrkan i ledaren,  $I$ ,

3. Längden av ledaren som befinner sig i det magnetiska fältet,  $L$ .



*Bild 13*

Växelverkan mellan det magnetiska huvudfältet  $B$  och det fält som alstrats kring den av strömmen  $I$  genomflutna ledaren åstadkommer således ledarens rörelse med en viss kraft  $P$ .

Allt efter den riktning som den elektriska strömmen har i ledaren, kommer denna att vilja röra sig i den ena eller andra riktningen, och har man följande minnesregel för denna:

Håller man högra handen utsträckt i strömmens riktning och vänder handens insida mot kraftliniefördet, så söker detta pressa ledaren åt lillfingrets håll.

Omkastas strömriktningen i ledaren så blir dess rörelseriktning motsatt.

Fram- och back-körning av spårvagnarna åstadkommes således genom att man medels kontrollern omkopplar strömriktningen i motorens ankarlindningar.

Ovanstående utgör grundprincipen för en elektromotors verkningsätt.

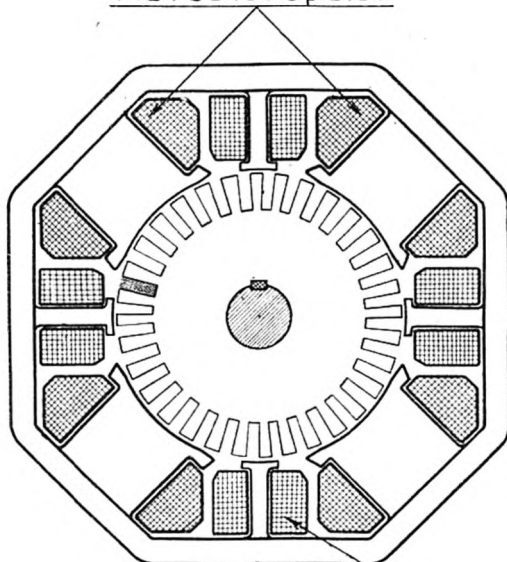
*Spårvagnsmotorn.* De för rörelsen verksamma delarne i en spårvagnsmotor äro huvudfältspolarna och ankarret. Dessa äro kopplade i serie, så att samma ström flyter genom dem båda.

Huvudfältspolarne äro till antalet fyra, med samma antal lindningsvarv. De äro lindade med bomullssomspunnen koppartråd, omlindade med isolerband, samt impregnerade.



Bild 14. Huvudfältspole

Huvudfältspolar



Kommuteringspole

Bild 15. Sektion av motor U 158

De fyra spolarne äro kopplade i serie, och så att lika benämnda magnetpoler komma mitt emot varandra.

Enär den genom motorerna flytande strömmen varierar med belastningen å desamma, vid varje vagns igångsättning c:a 75 ampère, i stigningar upp till 150 à 175 ampère, så blir även det

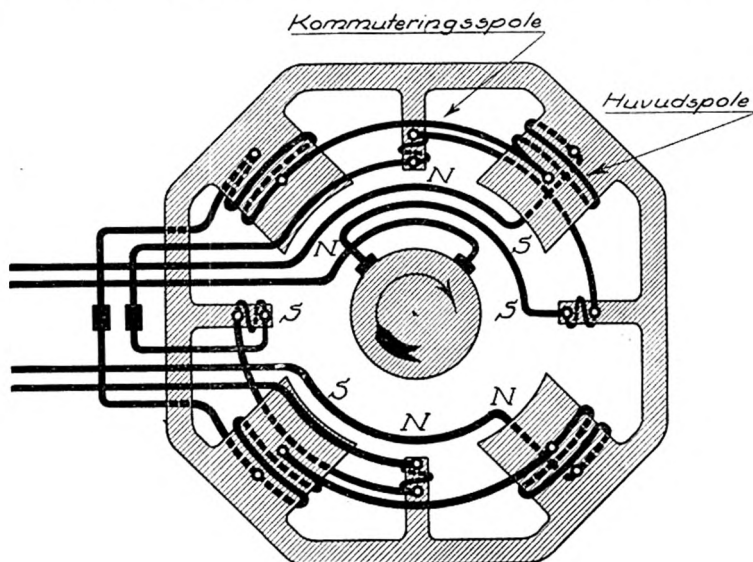
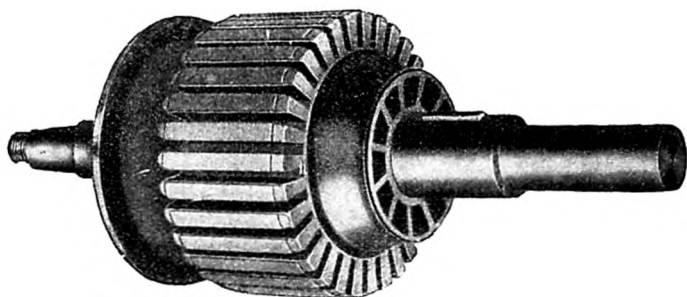


Bild 15 a. Sektion av motor U 158

av huvudfältspolarne alstrade kraftliniefältet varierande, enär ju den magnetomotoriska kraften är beroende av produkten av strömstyrkan och lindningsvarvens antal i fältspolarne.

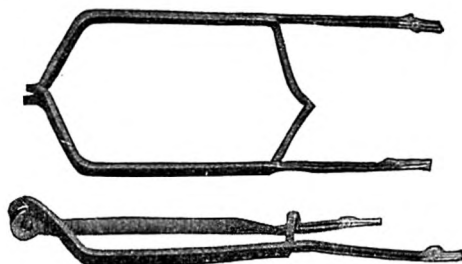
I det uppkomna kraftliniefältet befinner sig den andra av motorns huvuddelar, ankaret eller induktorn, förmedels vilket den tillförda elektriska energien omsättes i mekanisk energi.

Ankaret är sammansatt av tunna järnbleck (s. k. rotorplåt), som äro trädde på ankaraxeln, och ligga pressade intill varandra medels de båda pressflänsarna. Ankarblecken ligga dock ej i metallisk beröring med varandra, enär de på sidorna överdragits med lack. Härigenom förhindras uppkomsten av s. k. virvelströmmar i ankarkärnan. Dylika extraströmmar äro skadliga, enär de förorsaka uppvärmning av ankaret.



*Bild 16. Motorankare*

I ankarbleckens yttre omkrets äro upptagna spår i vilka ankarlindningen är inlagd.



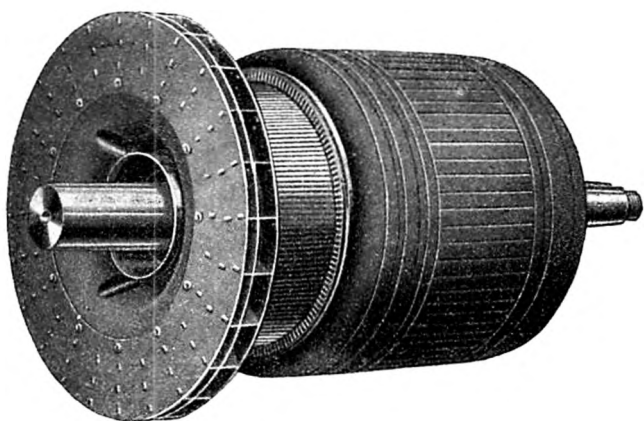
*Bild 17. Ankarspolar*

För ankarlindningen användes spolar av bomullsisolerad koppartråd. Varje spole innehåller ett bestämt antal lindningsvarv.

Spolarnes fria ändar äro förbundna med strömsamlarens (kommutatorns) lameller på så sätt, att en sammanhängande lindning erhålles å ankaret.

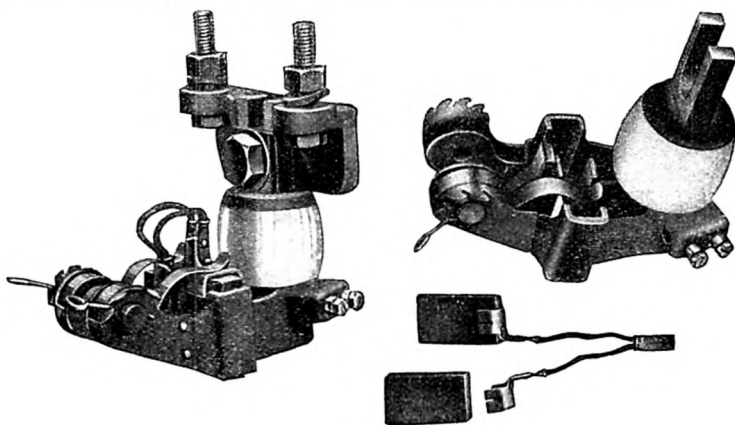


*Bild 18. Kommutator*



**Bild 19. Färdiglindat ankare**

Till strömsamlaren ledes strömmen genom borsthållarne och koilborstar, som släpa på kommutatorlamellerna. Strömmen ledes till ankaret genom *plus*-borsten, grenar sig i två delar på ömse sidor om kommutatorlamellen genomlöper ankarlindningarne och bortledes från ankaret genom *minus*-borsten.



**Bild 20. Borsthållare**

Om en elektrisk ström sändes genom de seriekopplade fältspolarne och ankarlindningarna, så uppstår på grund av växel-



verkan mellan det alstrade magnetfältet och strömmen i ankarlindningarna en kraft, som strävar att sätta ankaret i rotation.

*Kommuteringspoler.* Vid ökad belastning å motorn äger en förskjutning av huvudfältets riktning rum på grund av inverkan från ett av det strömgenomflutna ankarets spolar alstrat magnetfält. Denna förskjutning ger sig tillkänna genom en ökad gnistbildning mellan kolborstarna och kommutatorn, som är mycket skadlig i det att den dels förorsakar ökad nötning å kolborstar och kommutator, dels giver anledning till överslag och kortslutningar med åtföljande skador å motorns delar.

För att förebygga huvudfältets förskjutning äro motorerna försedda med s. k. kommuteringspoler, som sitta mellan huvudpolerna, och vars spolar äro kopplade i serie med ankaret. Kommuteringspolernas fält ökas eller minskas således med ankarströmmen och motverkar härvid automatiskt inverkan av ankarets magnetfält på huvudfältet.



**Bild 21. Kommuteringspole**

Kommuteringspolernas polaritet skall vara sådan, att i ankarets rotationsriktning efter en nordpol i huvudfältet följer en nordpol i kommuteringsfältet och efter en sydpol i huvudfältet följer en sydpol i kommuteringsfältet (se figur 15 a). När ankarets rotationsriktning ändras, vilket sker genom att strömriktningen i ankaret omkastas, så blir polariteten i kommuteringspolerna samtidigt ombytt.

För att få en klar uppfattning om den elektriska strömmens verkningsätt i en spårvagnsmotor, skola vi närmare studera en motor typ 158. Denna utvecklar normalt 40 hästkrafter och tager då en ström av 64 ampère vid 550 volts spänning.

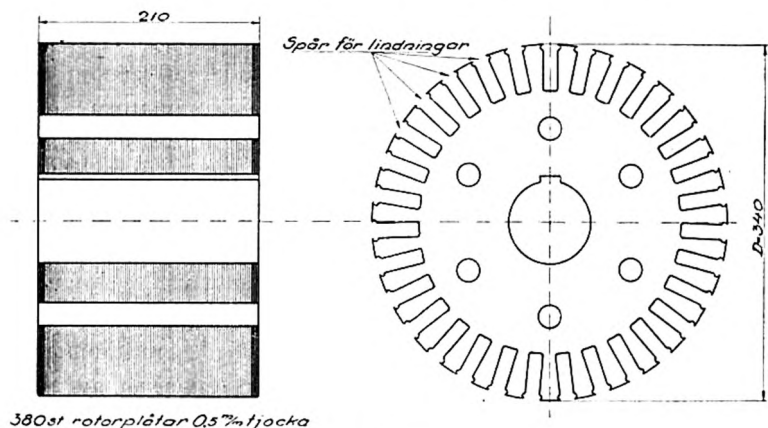


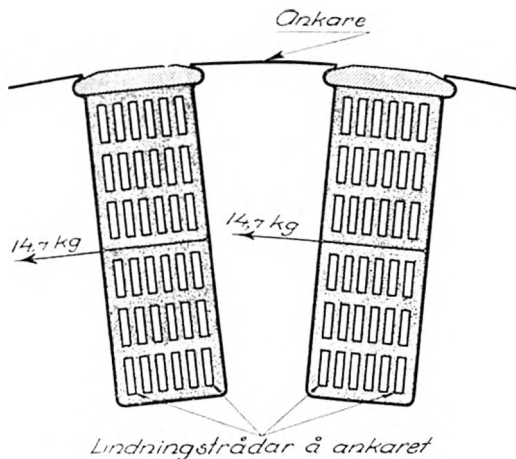
Bild 22

Runt ankaret äro upptagna 31 st. spår och finnes i vart och ett av dessa 36 st. ankarlindningar av bomullsisolerad koppartråd, således i samtliga spår  $31 \times 36 = 1116$  stycken lindningstrådar.

Från den kommutatorlamell, genom vilken strömmen tillföres ankaret, delar sig strömmen i två strömkretsar. Strömstyrkan i vardera kretsen är således 32 amp. De båda strömkretsarne förenas åter när strömmen lämnar ankaret genom minusborsten, och går genom de i serie med ankaret liggande kommuteringsspolarne och huvudfältspolarne.

Genom växelverkan mellan det av fältspolarna alstrade magnetiska fältet och de strömförande ankarlindningarne, uppkommer vid varje dylik lindning en kraft av 0,408 kg., verkande i en av strömriktningen bestämd riktning.

Då i varje spår finnas 36 st. lindningar, så blir dragkraften per spår  $36 \times 0,408 = 14,7$  kg. och å ankarets 31 spår tillsammans  $31 \times 14,7 = 456$  kg.



**Bild 23.** Ankarlindningar, full storlek

Härvid är för enkelhets skull antaget, att samtliga lindningar äro verksamma.

Genom kuggväxeln överföres kraften från ankaret till hjulaxeln och få vi till slut den dragkraft på 900 kg. som motorn utövar å vagnhjulets omkrets, då hjulets diameter är 850 mm.

*Dragkraft och varvantal.* Seriekopplingen av fältspolar och ankare giver åt banmotorn vissa utmärkande egenskaper i avseende på sambandet mellan dragkraft och hastighet, vilka egenskaper äro särdeles gynnsamma för motorns användning för spårvägsdrift. Man brukar grafiskt visa dessa egenskapers inbördes sammanhang, och huru den ena egenskapen förändras med den andra genom s. k. motorkurvor.

Å bild n:o 24 visas motorkurvorna för motor typ U 158 vid 550 volts spänning.

Å den horisontala linien nedtill angives motor-strömstyrkan i ampère. Värdena å verkningsgrad, vagnhastighet i km. per timma och dragkraft i kg. å hjulets omkrets, äro angivna å de vertikala skalorna.

Å kurvbladet framgår omedelbart den dragkraft och vagnhastighet, som motorn förmår åstadkomma vid olika strömstyrkor; och motsvarande verkningsgrad, och erhållas dessa värden genom att från ampèreskalan följa en vertikal linie uppåt. Där denna linie skär de övriga kurvorna avläses å skalorna till vänster tillhörande värden.

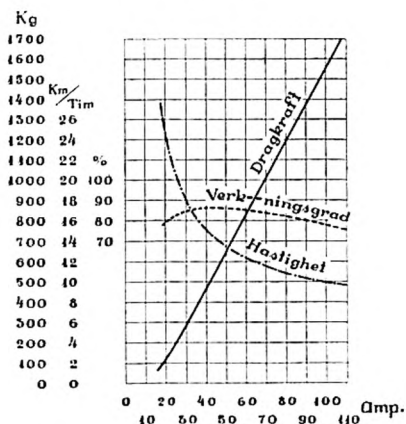
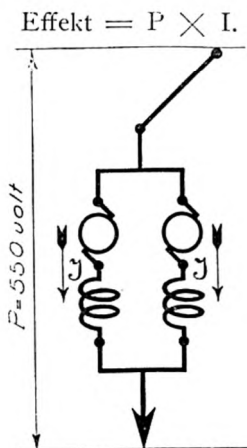


Bild 24

Till exempel: Vid 30 ampères strömstyrka genom motorn erhålles en dragkraft å vagnhulets periferi av 300 kg., en vagnhastighet av 18 km. per timma och en verkningsgrad av 85 %.

Om ett par banmotorer äro inkopplade med konstant spänning 550 volt och belastningen ökas, så måste motorerna utveckla större effekt.



*Bild 25*

Då spänningen  $P$  är konstant, så ökas strömstyrkan  $I$ , och vi få till följd härav ett kraftigare magnetiskt fält, vilket tillsammans med den ökade strömstyrkan  $I$  genom ankarlindningarna, resulterar i ökad dragkraft, samtidigt som motors varvantal avtager.

Hade belastningen minskats så hade motorerna avgivit lägre effekt, alltså använt lägre strömstyrka, vilket resulterat i minskad dragkraft och ökad hastighet.

Regleringen av den dragkraft, som motorerna i varje ögonblick bära utveckla och den mot denna svarande hastigheten sker således fullkomligt automatiskt vid en serielindad banmotor.

*Motortyper.* Göteborgs spårvägar har för närvarande följande motortyper:

TYP	Entimmas effekt kW	Varvantal per min.	Dragkraft kg.	Strömstyrka amp.
U 158	30,0	440	900	65
B 104	30,0	440	900	65
BMV-113	45,0	550	1150	95
US-521	41,0	400	1135	85
US-351	39,0	550	1000	80

Var och en av dessa motorer är konstruerad för att vid en viss effektförbrukning kunna alstra en viss dragkraft vid en bestämd hastighet, utan att motorns uppvärmning får överskrida ett visst bestämt gradtal.

Motorerna få även innan de levereras undergå en del prov, då det kontrolleras att motorn uppfyller dessa egenskaper.

*Driftspänningens inflytande.* Ovannämnda siffror på hastighet och dragkraft äro baserade på en spänning av 550 volt. I verkligheten är dock spänningen å kontaktledningen mycket varierande, av orsaker som vi senare skola undersöka.

När spänningen ändras, så inverkar detta närmast på motorns varvantal, vilket ändrar sig direkt med den tillförda spänningen. När således spänningen sjunker, blir varvantalet lägre, när den stiger ökas varvantalet.

Dragkraften är däremot oberoende av spänningen, och för att kunna avlämna en viss dragkraft, erfordras således endast en bestämd strömstyrka genom motorn.

---