

Det Kgl. Danske Videnskabernes Selskab.

Mathematisk-fysiske Meddelelser. **V**, 10.

UNDERSØGELSER OVER GNISTEN VED
EN KVÆGSØLVSTRAALEKOMMUTATOR

AF

JUL. HARTMANN



KØBENHAVN

HOVEDKOMMISSIONÆR: ANDR. FRED. HØST & SØN, KGL. HOF-BOGHANDEL

BIANCO LUNOS BOGTRYKKERI

1924

Forsøgsapparatet.

Emnet for det efterfølgende Arbejde er den Gnist, der dannes ved Afbrydning af en elektrisk Strøm flydende i en Kreds med Selvinduktion. I det betragtede Tilfælde skete denne Afbrydning ved Hjælp af et egenartet Apparat, hvis Princip kort skal antydes.

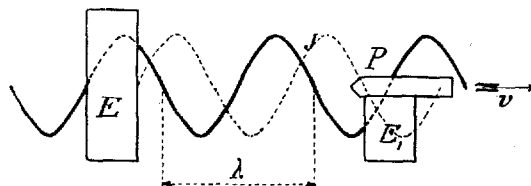


Fig. 1.

En uendelig lang bølgeformet Leder J bevæger sig med jævn Hastighed v fremad. Herved sluttes og afbrydes periodisk den elektriske Forbindelse mellem to Elektroder E og E_1 , gennem hvilke Lederen antages at trænge uden Hindring.

Man tænke sig en uendelig lang bølgeformet bøjet Leder J , Fig. 1, der bevæger sig

fremad med en konstant Hastighed v . I Lederens Bane er anbragt to Elektroder E og E_1 , gennem hvilke den bevæger sig uden Hindring. Elektroden E_1 begrænses af en isolerende Væg P med fortil skærpet Kant. Af denne Kant overskæres den bølgeformede Leder. Man forstaar, at denne sidste periodisk vil slutte og afbryde Forbindelsen mellem E og E_1 . Forbindelsen varer saa lang Tid, som Lederen er om at bevæge sig en halv Bølgebredde $\lambda/2$ fremefter. Afbrydelsen varer nøjagtig lige saa længe.

Den Maade, hvorpaa man kan virkeliggøre en Leder som den antydede eller i ethvert Fald en Leder af samme

Karakter, er vist i Fig. 2. R er her et Rør, ud af hvilket der træder en Kvægsølvstraale J . Straalen passerer et konstant Magnetfelt F og derefter en Elektrode E (svarende til E i Fig. 1). Gennem E og R kan man

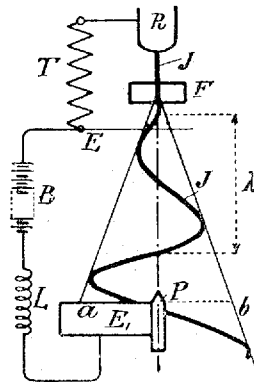


Fig. 2.

Virkeliggørelse af den vandrede bølgeformede Leder ved en Kvægsølvstraale, der passerer et konstant Felt F og selv passerer af en Vekselstrøm, leveret af Transformatoren T . Figuren antyder tillige en Strømkreds med Selvinduktion L og en Spændingskilde B . Denne Kreds sluttes og afbrydes afvekslende af den bølgende Straale.

sende en Vekselstrøm, leveret af Transformatoren T , ind og ud af den Del af Straalen, som passerer Feltet. Under Indflydelse af Vekselvirkningen mellem en saadan Strøm og Feltet vil Straalen antage Form af en Bølgefigur, der bevæger sig fremad med den oprindelige Straales Hastighed, en Bølgebredde λ i Perioden for den Vekselstrøm, der benyttes til Fremstilling af Bølgerne. Naar bortses fra, at disses Højde vokser, efterhaanden som den bølgeformede Straale skrider frem, adskiller Kvægsølvlederen sig, som det ses, i ingen Henseende fra Lederen i Fig. 1, og den kan derfor benyttes ganske som denne til afvekslende at slutte og afbryde Forbindelse mellem to Elektroder E og E_1 .*

Afbrydningsgnistens Struktur belyst ved Fotografier af Gnisten.

Dersom der nu, som antydnet i Fig. 2, mellem E og E_1 er indskudt en Strømkreds indeholdende en Strømkilde B og en Selvinduktion L , vil der, i den Tid Straalen slutter

* Principet er af Forfatteren benyttet i periodiske Afbrydere og i Ensrettere. For disse Anvendelser er der gjort Rede i »Nye Ensrettere og Periodiske Afbrydere« Kjøbenhavn 1918.

Forbindelsen mellem E og E_1 , vokse en Strøm op i Kredsen. Denne Strøm vil blive brudt i det Øjeblik, Kanten af P overskærer Straalen. Herved opstaar en Gnist, Afbrydningsgnisten, hvis Energi i Hovedsagen stammer fra den elektrokinetiske Energi, der i Afbrydningsøjeblikket var opmagasineret i Selvinduktionen L 's Felt. Det er denne Gnist, vi skal betragte. Afbrydningen fandt i Hovedundersøgelsen, med en enkelt Undtagelse, altid Sted i en Atmosfære af Brint eller Belysningsgas, og kun for disse Luftarter, der i alt væsentlig forholder sig ens, gælder derfor de nedenfor fremstillede Hovedresultater.

Den mest umiddelbare Forestilling om Gnistens Struktur faar man ved at optage fotografiske Billeder af Gnisten. Fig. 3 gengiver i naturlig Størrelse tre paa hinanden følgende Afbrydningsgnister, hver rummende en Energi paa ca. 1.6 Watt Sek., d.v.s. en i denne Forbindelse jævn stor Gnist. Som det ses, bestaar hver



Fig. 3.
Tre Afbrydningsgnister, hver indeholdende en Energi paa ca. 1.6 Watt Sek. Regelmæssige Gnister.

Gnist i Hovedsagen af en enkelt Lysbue af ret lunefuld Form. De gængsne Gnister hidrører fra en meget regelmæssigt arbejdende Afbryder eller Kommutator med pludselig og veldefineret Overskæring af Straalen. Dette giver sig netop til Kende i den enkle Karakter af Gnistbilledet,

hvortil der, som vi straks skal se, svarer et regelmæssigt formet Billede, Oscillogram, af den gennem Gnisten flydende

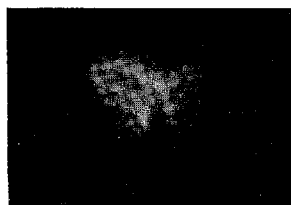


Fig. 4.

Gnist, der har delt sig op i flere efter hinanden fremkomne Enkeltudladninger.

Strøm. Ved mindre regelmæssig Kommutering absorberes hele Gnistenergien ikke i en enkelt Udladning, men der optræder efter hinanden en Række Udladninger; Fig. 4 giver et Eksempel herpaa. At Udladningerne finder Sted efter hinanden, fremgaar ofte af selve Gnistfotografiet. Paa dette ser man

ved tilstrækkelig Intensitet et Billede af Gnistens Refleks i selve Straalen. Man skimter f. Eks. denne Refleks i Fig. 5 umiddelbart til højre for Gnisten. Naar det nu viser sig, at Refleksen fremtræder som en Dobbeltlinie i Tilfælde, hvor Gnisten har delt sig i to Udladninger, saa fremgaar det heraf, at der er forløbet en vis Tid mellem Fremkomsten af den ene og den anden af disse.

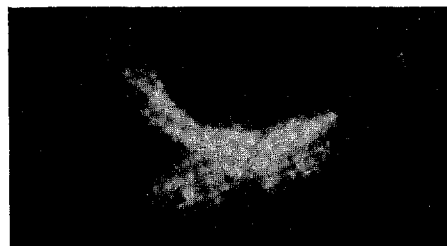


Fig. 5.

Fotografi, der viser Refleksen af Gnisten i den blanke Straalebugt. Refleksen viser Straalebugtens Stilling, paa det Tidspunkt Gnisten dannes. Af Refleksbaandets Struktur kan man slutte sig til Gnistens Bygning og Varighed. Ved en dobbelt Gnist ses to adskilte Reflekser.

I Fig. 5 kan man, omend ikke meget tydeligt, se, at Refleksen i Straalen er dobbelt. Det skal endnu be-

mærkes, at Refleksen viser, hvor Straalen befandt sig i Forhold til den isolerende Vægs Kant i Øjeblikket for den metalliske Forbindelses Ophør. Det fremgaar af de originale Fotografier, at Straalen som Helhed længst har passeret Isolatorens skærende Kant, i det Øjeblik Gnisten dannes.

Der maa altsaa være dannet en Kvægsølvstreng, der først brister efter at være trukket ud til en vis Længde. I Fig. 6 er der givet et skematisk Billede af Strengen liggende tværs over P 's Kant. Billedet skal belyse, hvorledes man kan tænke sig, at de enkelte Udladninger i en sammensat Gnist bliver til. Strengen er først bristet ved 1, og Udladning 1 er indledet. Før den hele magnetiske Energi er fortæret i denne Udladning, er Resten af Strengen bristet ved 2, og der indledes følgelig en ny Udladning 2. Som her antydet er Forholdene altsaa formentlig ved mindre præcis Kommutering. Ved meget regelmæssig Kommutering brister Strengen kun eet bestemt Sted, og al Energien omsættes i een Udladning, der dog ofte har en vis Struktur, idet den paa en Del af sin Længde kan være delt i tydelig adskilte Grene. Maaske er der i Virkeligheden Tale om uafhængige Udladninger, der finder Sted meget kort Tid efter hinanden og udgaar praktisk set fra samme Punkt.

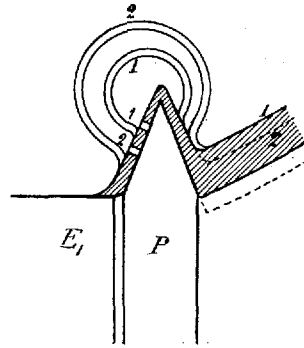


Fig. 6.

Skematisk Billede af Forholdene ved Straalens Overskæring. Tværs over den skærende isolerende Kant dannes en Streng. Denne er først bristet ved 1 og Udladningen 1 er dannet. Lidt senere er Strengen bristet ved 2, hvilket har givet Anledning til Fremkomsten af den nye Udladning 2. Ved regelmæssig Overskæring brister Strengen kun et Sted, og der dannes een enkelt Gnist.

Strukturen belyst ved Oscillogrammer for Gniststrøm og Gnistspænding.

Et andet Middel til Belysning af Afbrydningsgnistens Struktur er samtidige Billeder, Oscillogrammer, af Gniststrømmens og Gnistspændingens Variation med Tiden. Saa-danne Billeder blev i stort Tal fremstillet ved Hjælp af en

følsom og hurtig tegnende Duddell-Oscillograf. Strømsløjfen i denne blev forbundet til Polerne af en i Strømkredsen

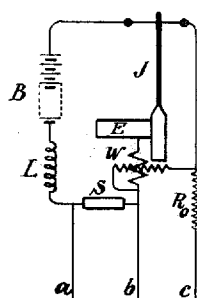


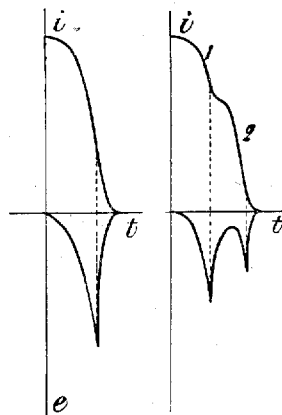
Fig. 7.

Opstilling til Optagelse af Billeder ved Oscillograf af Gniststrømmen og Gnistspændingen, samt til wattmetrisk Måling af den i Gnisten indeholdte Energi. Oscillografens Strømsløjfe er indskudt mellem *a* og *b*, dens Spændingssløjfe mellem *b* og *c*. Wattmetret er antydet ved *W*.

indskudt Shunt *S*, Fig. 7, ved Hjælp af Ledningerne *a* og *b*. Spændingssløjfen blev forbundet med de to Sider af Gnistrummet ved Ledningerne *b* og *c* under Indskydelse af en passende Forlagsmodstand R_0 . Ved regelmæssig Overskæring af Straalen, d.v.s. ved Gnister, bestaaende af kun een Udladning, har den Del af Dobbeltoscillogrammet, som her interesserer os, den Form, som er vist i Fig. 8*a*. Øverst ses den affaldende Strøm gennem Gnisten, nederst den Spænding, som induceres i *L* ved Strømmens Aftagen. Spændingskurven fremtræder som en enkelt skarp udpræget Spids.

Fig. 9*a* viser et virkeligt Oscillogram af den her betrag-

tede regelmæssige Type. Øverst ses i den brat affaldende Del af Kurven Strømoscillogrammet, nederst det tilsvarende Spændingsoscillogram. Dersom Gnisten bestaar af to efter hinanden følgende Udladninger, træder dette yderst tydeligt frem i Oscillogrammet, der da faar det i Fig. 8*b* viste Udseende. Kommutteringen er begyndt med en enkelt Udladning, der giver et regelmæssigt

Fig. 8*a*. Fig. 8*b*.

a. Skematisk Dobbeltoscillogram for en enkelt Gnist. Øverst Strømmens, nederst Spændingens Variation med Tiden *t*.

b. Skematisk Dobbeltoscillogram for en Gnist med to Udladninger. Til disse svarer to Afsatser i Strømkurven og to Spidser i Spændingskurven.

Oscillogram 1. Efter en vis Tid sætter en ny Udladning ind med sit regelmæssige Oscillogram 2, der fortsætter, hvor 1 slap. Særlig tydelig giver Opdelingen af Gnisten i to eller flere Udladninger sig til Kende i Spændingsdiagrammet, der faar et Antal Spidser, svarende til Antallet af Udladninger. Fig. 9b gengiver Oscillogrammet for en Gnist, der har delt sig op i tre Udladninger, hvad der altsaa viser sig ved tre Spidser i Spændingsdiagrammet og ved tre Aftrapninger paa Strømdiagrammet.

Gnistkurvens Ligning.

Den affaldende Del af Oscillogrammet, der viser, hvorledes Strømmen aftager gennem Gnisten, har ved regelmæssige Gnister, bestaaende af een enkelt Udladning, en ejendommelig simpel Form, der paa Forhaand gør det sandsynligt, at Kurven med god Tilnærmelse kan fremstilles ved et relativt simpelt matematisk Udtryk. Dette viser sig

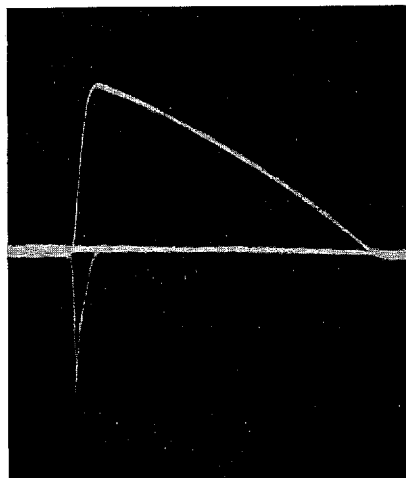


Fig. 9a.

Virkeligt Oscillogram for en enkelt Gnist.

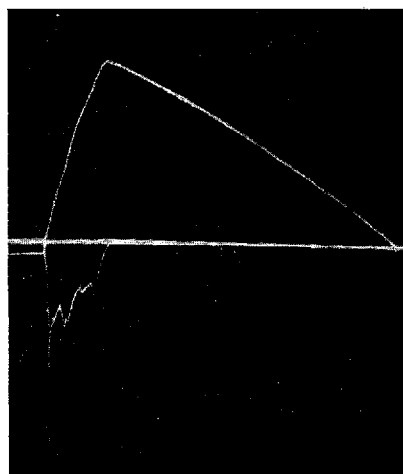


Fig. 9b.

Virkeligt Oscillogram for Gnist med tre Udladninger.

ogsaa at være Tilfældet. Fig. 10, Kurve *a*, viser en Gnistkurve, tegnet paa Grundlag af omhyggelig Opmaaling af et Oscillogram. Paa dette Oscillogram prøvedes forskellige Hypoteser. I dem alle antoges det, at Gnisten kunde re-

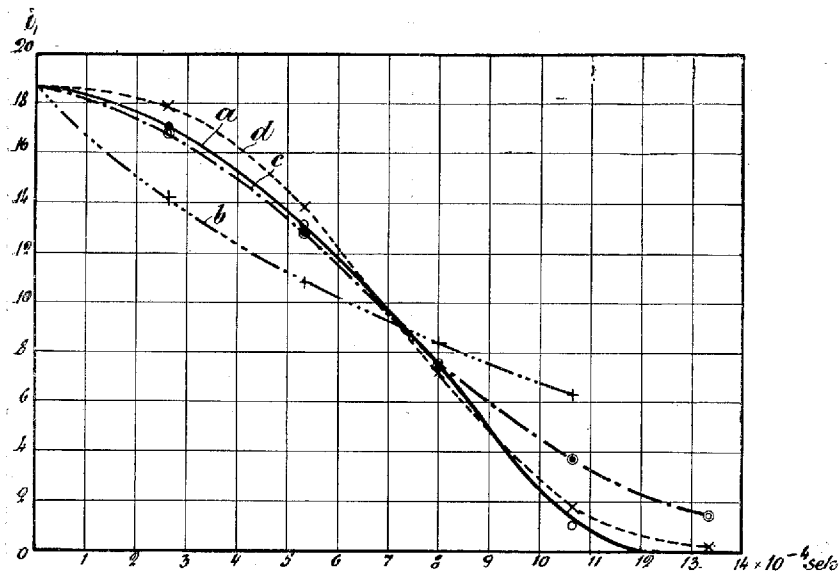


Fig. 10.

Gniststrømsoscillogrammet — (a) — afbildet ved forskellige analytiske Udtryk:

- (b) $i = \bar{i} e^{-\frac{\mu}{L} \cdot t}$, svarende til konstant Gnistmodstand r_g lig μ . (c) $i = \bar{i} e^{-\frac{\mu}{2L} \cdot t^2}$, svarende til $r_g = \mu t$ og (d) $i = \bar{i} e^{-\frac{\mu}{3L} \cdot t^2}$ svarende til $r_g = \mu t^2$.

præsenteres ved en Modstand r_g , der ændres med Tiden t . Fremdeles antoges det, at man kunde se bort fra den Modstand, Kredsen iøvrigt indeholdt, og at Strømkildens Spænding kunde betragtes som forsvindende i Sammenligning med den Spænding, der, medens Gnisten varer, induceres i Kredsens Selvinduktion. Begge Betingelser var fuldtud opfyldt i Tilfældet gengivet i Fig. 10, Kurve *a*. Oscillogrammet her stammede nemlig fra en Strømkreds med Vekselspænding og praktisk set uden Modstand. Og Gnisten dannedes

meget nær i det Øjeblik, da Spændingen skiftede Fortegn. Under disse Forhold har man da for Kredsen, saa længe Gnisten varer:

$$(1) \quad -L \cdot \frac{di}{dt} = i r_g,$$

naar i betegner Strømmen gennem Gnisten.

Løsningen af (1) afhænger af, hvorledes r_g antages at variere med Tiden. Hvis r_g var konstant lig μ skulde Strømmen aftage efter Udtrykket

$$(2) \quad i = \bar{i} e^{-\frac{\mu}{L}t} = \bar{i} e^{-bt},$$

hvor $\bar{i}$ betegner Strømmens Værdi i det Øjeblik $t = 0$, da Afbrydningen finder Sted, og Gnisten dannes. Fig. 10, Kurve b , viser denne Løsning afpasset saaledes, at den beregnede Kurve falder sammen med den iagttagne i dennes halve Højde. Ganske øjensynlig er Forudsætningen om en konstant Modstand ret falsk. Hvis Modstanden antoges at vokse proportionalt med Tiden efter Udtrykket $r_g = \mu t$, skulde Gniststrømmen blive

$$(3) \quad i = \bar{i} e^{-\frac{\mu}{2L}t^2} = \bar{i} e^{-bt^2}.$$

Fig. 10, Kurve c , viser denne Løsning, der langt bedre afbilder de faktiske Forhold, dog endnu ikke helt godt i den sidste Del af Tidsintervallet, hvor Modstanden øjensynlig stiger væsentlig hurtigere end forudsat. Det ligger da nær at prøve Hypotesen $r_g = \mu t^2$, der fører til:

$$(4) \quad i = \bar{i} e^{-\frac{\mu}{3L}t^3} = \bar{i} e^{-bt^3}.$$

Den sidste Løsning er gengivet i Fig. 10, Kurve d , der som Helhed slutter sig ret godt til den iagttagne Kurve. Den her antydede Prøve gennemførtes for et Antal Tilfælde.

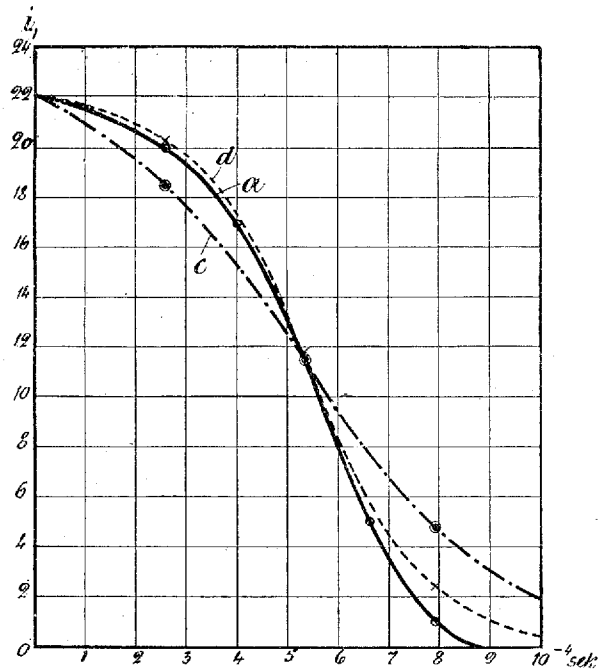


Fig. 11 a.

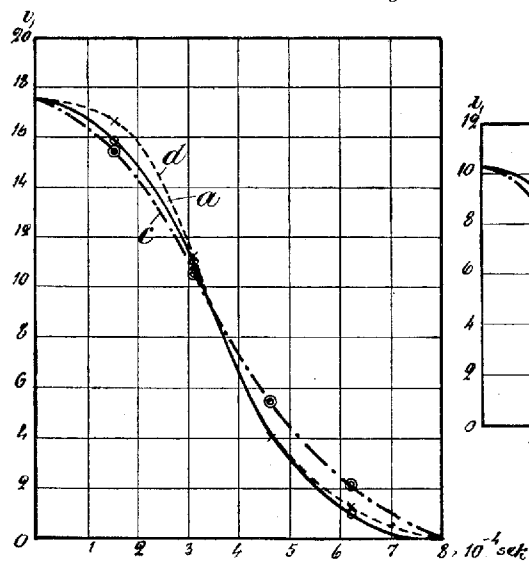


Fig. 11 b.

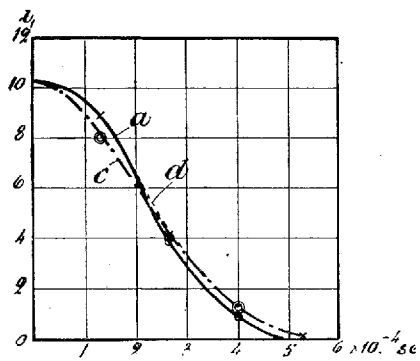


Fig. 11 c.

Fig. 11 a—c.

Forskellige Gnistoscillogrammer, Kurverne a, sammenlignet med de analytiske

Udtryk $i = \bar{i} e^{-\frac{\mu}{2L} \cdot t^2}$, Kurverne c, og $i = \bar{i} e^{-\frac{\mu}{3L} \cdot t^2}$, Kurverne d.

Fig. 11 *a—c* gengiver 3 af disse. Som det ses, slutter Udtrykket (4) sig i alle Tilfælde som Helhed bedst til Iagttagelserne. De optrædende Afvigelser er i alle Tilfælde af samme Type. Modstanden vokser til at begynde med næppe saa hurtigt, mod Slutningen noget hurtigere end forudsat. Afvigelserne kan dog vistnok betegnes som relativt smaa.

Det er ganske interessant at bemærke, at Anden-Potens-Loven for Modstandens Opvoksen er den, man føres til for en vædskeformet Leder, hvis Længde vokser proportionalt med Tiden. Samtidig med, at Længden vokser paa denne Maade, maa jo nemlig Tværsnitsarealet gaa ned med første Potens af Tiden t , saaledes at Forholdet mellem Længde og Tværsnitsareal og dermed Modstanden vokser med t^2 . Dersom det antoges, at den vædskeformede Leder tilsidst brister, som Følge af at der opstaar »Indsnøringer« paa den som paa Objektet i en Strækkeprøve, bliver Analogien mellem den vædskeformede Leder og Gnisten endnu nøjere. Thi saa snart Indsnøringen begynder, vokser Modstanden hurtigere end med anden Potens af Tiden, ganske som Tilfældet er med Gnisten umiddelbart før dennes Slukning.

Gnistkurvens Afhængighed af Effekten.

Den sidst antydede Undersøgelse, der førte til Udtrykket (4) for Gniststrømmens Variation med Tiden, blev foretaget med Oscillogrammer, der som antydet stammede fra en særlig Strømkreds, nemlig en Strømkreds i en mekanisk Ensretter. I denne Kreds hidrørte Selvinduktionen fra Spredningsfeltet i en Transformator. Det syntes ønskeligt at arbejde med noget mere veldefinerede Forhold end dem, der stod til Raadighed i Ensretteranlægget. De efterfølgende Undersøgelser udførtes derfor med en simpel Strømkreds som i Fig. 2 resp. Fig. 7. B var herved et Akkumulatorbatteri, hvis Celleantal ændredes, naar Gnisteffekten skulde ændres. L betegner kendte jærnfri Selvinduktioner, Der benyttedes tre saadanne paa henholdsvis 4.7, 15.8 og 31.3 Millihenry.

I Kredsen var der ingen Modstand ud over den, Selv-

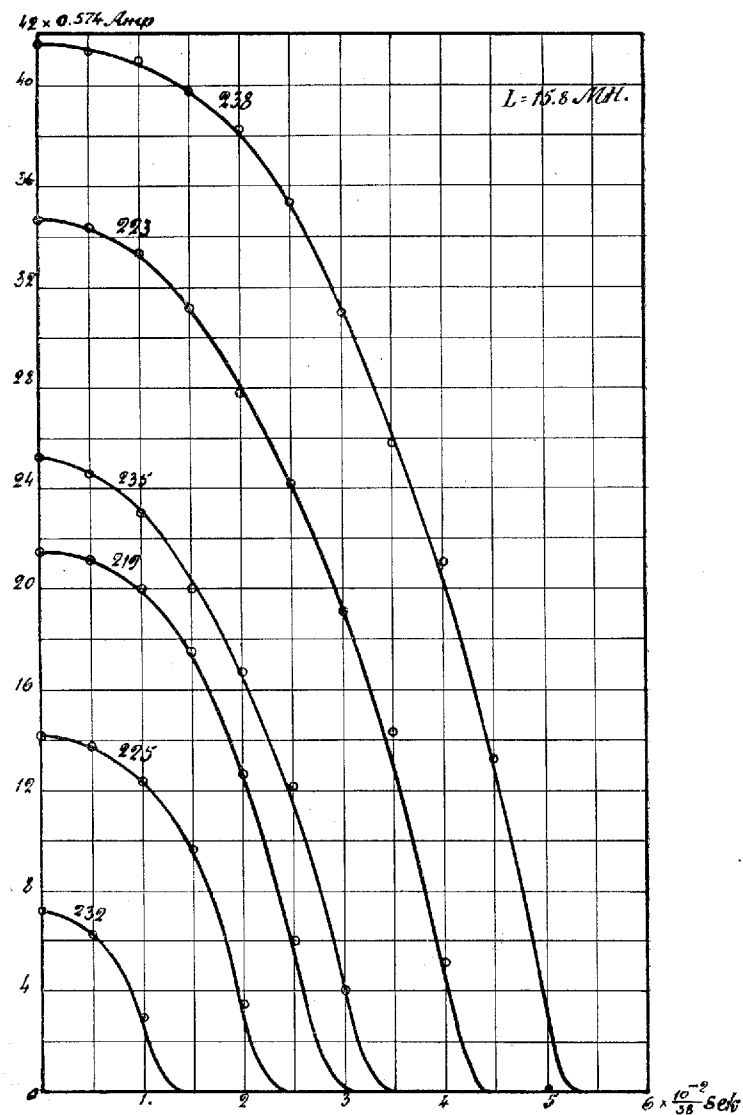


Fig. 12.

Gniststrømsoscillogrammer for en Kreds med Selvinduktion $L = 15.8$ Millihenry.

induktionerne og Ledningerne rummede, d. v. s. ved 4.7 M.H. 0.85 Ohm, ved 15.8 M.H. 1.05 Ohm og ved 31.3 M.H. 1.45 Ohm.

Afbryderen holdtes i Gang ved 50-periodet Vekselstrøm. Kredsen afbrødes altsaa 50 Gange pr. Sek.

Med denne Kreds udførtes Undersøgelser over, hvorledes Gnistkurven afhænger af den i Gnisten indeholdte Effekt. Gnisteffecten, altsaa den samlede Energi i de 50 Gnister, der dannedes i hvert Sekund, maales ved Hjælp af et Wattmeter W , indskudt som antydet i Fig. 7. Paalideligheden af denne Metode til Maaling af Gnistens Energi prøvedes særskilt. Samtidig med at Effekten iagttoges, optoges Dobbelt-oscillogrammer, som tidligere beskrevet.

I hosstaaende Tabel er Resultater af Udmaalinger paa de forstørrede Oscillogrammer gengivne. Strømoscillogrammerne svarende til Selvinduktionen $L = 15.8$ M.H. er reproducerede i Fig. 12. De udviser en betydelig Regelmæssighed, men alle Gnister var utvivlsomt ogsaa enkle. Det samme gjaldt sikkert de øvrige her betragtede Gnister. Alle de nedenfor anførte teoretiske Resultater gælder derfor kun saadanne simple Gnister.

	W_g	$t_{\frac{1}{2}}$	$t_{\frac{1}{2}}^3$	b	L	E
	Watt	Sek.			M.H.	Volt
K 238	310	$10.3 \cdot 10^{-4}$	$1100 \cdot 10^9$	$0.63 \cdot 10^9$	15.8	61.5
223	210	8.31 —	574 —	1.21 —	—	51.0
235	131	6.32 —	252 —	2.75 —	—	41.0
219	76	5.60 —	176 —	3.94 —	—	31.0
225	30	4.47 —	90 —	7.70 —	—	20.5
232	7.5	2.37 —	13.3 —	52.0 —	—	10.5
K 237	190	7.62 —	442 —	1.57 —	31.3	61.5
222	125	7.18 —	370 —	1.87 —	—	51.0
224	19.5	3.55 —	45 —	15.4 —	—	20.5
K 236	200	8.40 —	592 —	1.17 —	4.7	41.0
226	46	4.36 —	83 —	8.35 —	—	20.5
233	10	2.68 —	19.2 —	36.1 —	—	10.5

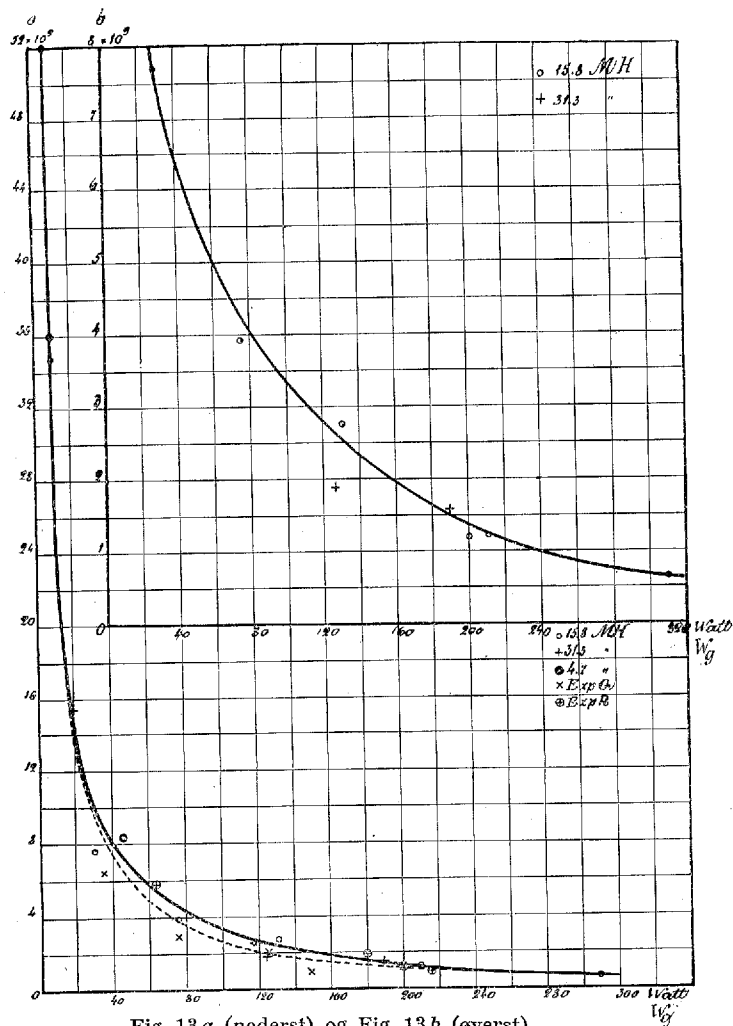


Fig. 13a—b.

Kurver, der viser Gniststrømskurvens Afhængighed af Gnisteffekten W_g , d. v. s. Effekten ved 50 Gnister pr. Sek. Ordinaten er Koefficienten b i Udtrykket $i = \bar{i} e^{-bt^2}$. Abscissen er W_g maalt i Watt. Kurverne viser, at b kan udtrykkes ved $b = 265 \cdot 10^9 / W_g$.

I Tabellen betyder W_g Gnisteffekten i Watt ved 50 Gnister pr. Sek. Under $t_{\frac{1}{2}}$ er anført Tiden for Gniststrømmens Aftagen til sin halve Værdi. Størrelsen b betegner Koefficienten

i Udtrykket (4) for Gniststrømmen. E er Kredsens konstante Spænding, L dens Selvinduktion maalt i Millihenry. Koefficienten b bestemtes af $t_{\frac{1}{2}}$ ved Hjælp af Udtrykket:

$$b = \frac{\log \text{nat } 2}{t_{\frac{1}{2}}^2},$$

et Udtryk, der direkte udledes af (4) pg. 11. Tiden $t_{\frac{1}{2}}$ udmaalt direkte paa det forstørrede Oscillogram.

Materialet er vel egnet til en Undersøgelse af Loven for b -Koefficientens Afhængighed af Gnisteffekten W_g . I Fig. 13 *a* er denne Undersøgelse udført. Den fører til et særdeles anskueligt Resultat. For det første ses det umiddelbart, at W_g - b -Kurven, den optrukne, nærmer sig stærkt til en ligesidet Hyperbel. Produktet $b \cdot W_g$ er altsaa meget nær konstant. Og yderligere viser Kurven, at b er uafhængig af Selvinduktionen. Det er altsaa ligegyldigt, om en bestemt Gnisteffekt W_g fremkommer ved Afbrydning af en stærk Strøm i en lille Selvinduktion eller en svag Strøm i en stor. Undersøgelsen kan suppleres med lagttagelser hentede fra de ovenfor antydede Ensretterforsøg. Disse er betegnede ved Q og R . Tages Hensyn til de fra disse Forsøg hidrørende Punkter, maa Kurven

tegnes som den punkterede. Hvor nær den ved alle Forsøg bestemte W_g - b -Kurve kommer til en ligesidet Hyperbel, fremgaar af hosstaaende numeriske Prøve.

I Fig. 13 *b* er den nederste Del af W_g - b -Kurven tegnet med forstørrede Ordinater.

W_g	b	$W_g \cdot b$
20	$14 \cdot 10^9$	$280 \cdot 10^9$
40	7.2 —	288 —
60	4.9 —	294 —
80	3.5 —	280 —
100	2.6 —	260 —
150	1.5 —	225 —
200	1.2 —	240 —
250	1.0 —	250 —
		$265 \cdot 10^9$

Ved Tegningen er der dog kun benyttet Punkter fra Forsøgene med de jærnfri Selvinduktioner.

Gnistens Varighed.

For Gnister bestaaende af en enkelt Udladning gælder altsaa med god Tilnærmelse, at Strømmen gennem Gnisten kan skrives:

$$(1) \quad i = \bar{i} \cdot e^{-b t^b},$$

hvor

$$(2) \quad b = 265 \cdot 10^9 / W_g.$$

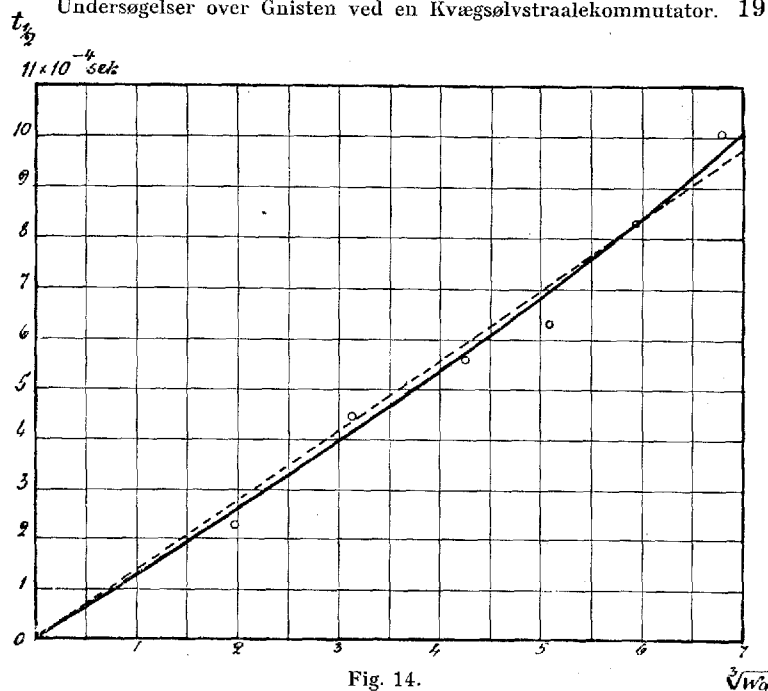
Af (1) og (2) udleder man for den Tid $t_{\frac{1}{2}}$, i Løbet af hvilken Gniststrømmen synker til det halve af sin oprindelige Værdi, Udtrykket

$$(3) \quad t_{\frac{1}{2}} = \frac{(\log \text{ nat } 2)^{\frac{1}{b}}}{b^{1/b}} = 0.138 \cdot 10^{-3} \sqrt[3]{W_g} \text{ (} W_g \text{ Watt).}$$

Oscillogrammets Bredde i halv Højde, hvilken Størrelse vi vil betragte som et Maal for Gnistens Varighed, skal altsaa være proportional med $\sqrt[3]{W_g}$. I efterfølgende Tabel er (3) prøvet ved Oscillogrammerne 219—238 i Fig. 12.

Osc.	W_g	$t_{\frac{1}{2}}$ ber.	$t_{\frac{1}{2}}$ obs.
	Watt	Sek.	Sek.
238	310	$9.35 \cdot 10^{-4}$	$10.3 \cdot 10^{-4}$
223	210	8.18 —	8.32 —
235	131	7.00 —	6.31 —
219	76	5.84 —	5.62 —
225	30	4.29 —	4.50 —
232	7.5	2.70 —	2.32 —

Overensstemmelsen er, som det ses, fortrinlig. I Fig. 14 er Prøven foretaget grafisk, idet $t_{\frac{1}{2}}$, udmaalt direkte paa Oscillogrammerne, er afsat i Afhængighed af $\sqrt[3]{W_g}$ -Kurven, som efter Teorien skulde være retliniet, er det ogsaa i



Gnistens Varighed, maalt ved Tiden $t_{\frac{1}{2}}$ for Strømmens Aftagen til sin halve Værdi, fremstillet i Afhængighed af $\sqrt[3]{W_g}$. (W_g Gnisteffekten i Watt ved 50 Gnister pr. Sek.); $t_{\frac{1}{2}}$ er med god Tilnærmelse proportional med $\sqrt[3]{W_g}$.

Hovedsagen, selv om en ganske ringe Krumning vel nok kan spores.

Gnistens Modstand og Spændingsfald.

Ifølge de Betragtninger, der førte til Udtrykket for Gniststrømmen, skulde Konstanten b være givet ved

$$(1) \quad b = \mu/3L,$$

hvor μ atter betyder Koefficienten i Udtrykket

$$(2) \quad r_g = \mu t^2$$

for Gnistens Modstand.

Har man altsaa ved Hjælp af Oscillogrammet bestemt b , og kendes Selvinduktionen L , kan μ beregnes og der-

med Gnistmodstanden i Afhængighed af Tiden. I hosstaaende Tabel er Beregningen udført for Oscillogrammerne 238 og 219 Fig. 12.

Osc. 238, $b = 0.630 \cdot 10^9$, $L = 15.8$ M.H.,

$\mu = 29.8 \cdot 10^6$, $W_g = 310$ Watt.

t	i_g	r_g	e_g
Sek.	Amp.	Ohm	Volt
0	24.0	0	0
$2.63 \cdot 10^{-4}$	23.6	2.05	48.5
5.26 —	21.8	8.25	180
7.89 —	17.6	18.5	326
10.52 —	11.5	33.0	379
13.15 —	5.0	51.5	258
15.78 —	2.0	74.1	148

Osc. 219, $b = 3.67 \cdot 10^9$, $L = 15.8$ M.H.,

$\mu = 174 \cdot 10^6$, $W_g = 76$ Watt.

t	i_g	r_g	e_g
Sek.	Amp.	Ohm	Volt
0	12.3	0	0
$2.63 \cdot 10^{-4}$	11.5	12	138
5.26 —	7.2	48	346
7.89 —	2.0	116	232

Naar man herefter har sammenhørende Værdier af Strøm og Modstand, kan Spændingsfaldet e_g i Gnisten beregnes. De beregnede Værdier er anført i Tabellerne under e_g . Tabellen for Osc. 238 er afbildet grafisk i Fig. 15. Her betegner C_c den beregnede Strømkurve (i_g , t), C_o den direkte iagttagne. Sammenfaldet er over største Delen af Kurven næsten absolut. Kun paa den nederste Del viger de to Kurver ud fra hinanden. R_c giver Kurven for r_g , V_c er den

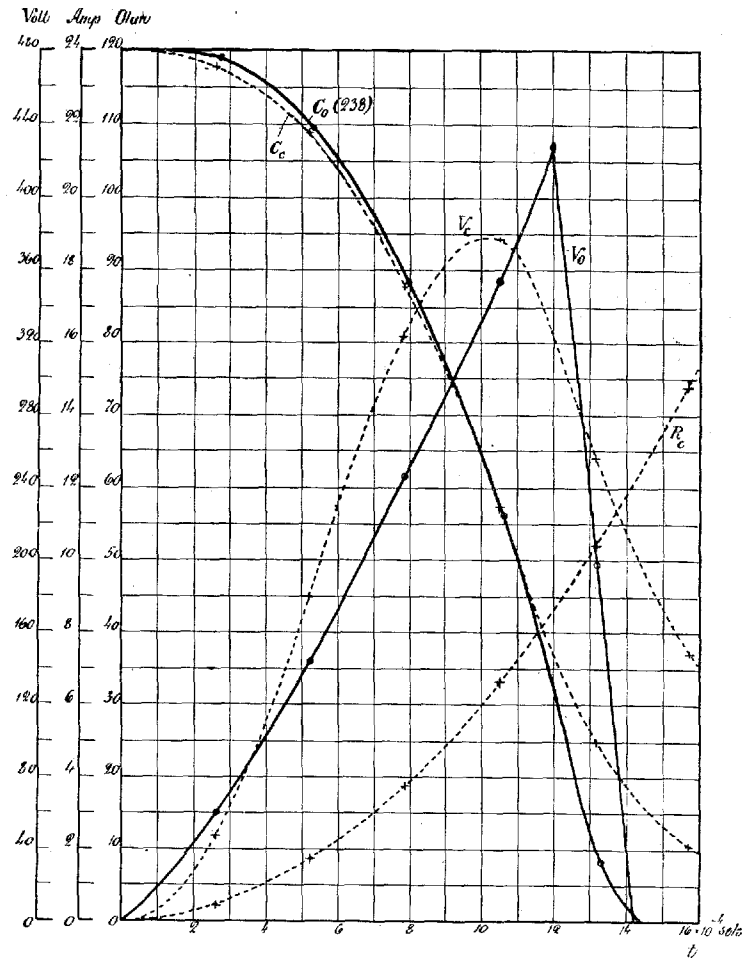


Fig. 15.

Analyse af Oscillogram 238 svarende til Effekten $W_g = 310$ Watt ved 50 Gnister pr. Sek. C_o direkte iagttagne Oscillogram. C_c Oscillogram beregnet af Udtrykket $i_g = \bar{i} e^{-0.630 \cdot 10^9 t^2}$. R_c Kurve for Gnistmodstandens Variation med Tiden beregnet af $r_g = 29.8 \cdot 10^9 t^2$. V_o direkte iagttagne Spændingsoscillogram, V_c Spændingsoscillogram beregnet af C_c og R_c .

beregnete Kurve for e_g . Den faktiske, der udmaales paa Oscillogrammet, var V_o , der er karakteristisk ved at være spidsere, svarende til, at den virkelige Strømkurve falder brattere af end den teoretiske. Af C - og V -Kurverne kunde

Gnistens Karakteristik, d. v. s. e_g , i_g -Kurven udledes. Spørgsmaalet om Gnistkarakteristiken skal imidlertid betragtes for sig i det følgende Stykke.

Paa dette Sted skal der gøres en Bemærkning angaaende, hvad der i det foregaaende er empiriske, og hvad der er teoretiske Resultater. Det er en ren Erfaringssag, at Gnistkurven i alle de betragtede Tilfælde ogsaa de, hvor Kredsen indeholdt Modstand og konstant Spænding, med god Tilnærmelse afbildes ved Udtrykket $i = \bar{i}e^{-bt}$. Det er fremdeles en Erfaringssag, at b er omvendt proportional med den i Gnisten indeholdte Effekt, eller at Gnistens Varighed maalt ved $t_{\frac{1}{2}}$ er proportional med den tredie Rod af Effekten. Derimod er Værdierne for Modstanden og Spændingsfaldet ovenfor udledt paa Grundlag af en Teori for den gennem Gnisten sluttede Kreds. Og denne Teori bygger paa Forudsætning om, at Kredsen udenfor Gnisten praktisk set ingen Modstand indeholder og om, at der ingen elektromotorisk Kraft findes i Kredsen undtagen den i Selvinduktionen inducerede. Hvis disse Forudsætninger ikke er praktisk set opfyldt, bliver r_g og e_g heller ikke helt rigtige. Utvivlsomt kan alligevel Tabellen ovenfor give os et Holdepunkt for Vurderingen af de Fejl, der begaas ved i Udledningen af Udtrykkene for Gniststrømmen pag. 11 at se bort fra Kredsens øvrige Modstand og den konstante Spænding i Kredsen. I Tilfældet Osc. 238 var Kredsens Modstand 0.85 Ohm, den konstante Spænding var 61.5 Volt. Som det ses, vokser Gnistens Modstand og Spændingsfald ret hurtigt op over disse Værdier. I Tilfældet 219 var Modstanden udenfor Gnisten ligeledes 0.85 Ohm, men Spændingen kun 31 Volt. Af de anførte Tal sluttet, at Modstand og Spænding næppe kan have nogen væsentlig Indflydelse ved svagere Gnister. Ved meget kraftige Gnister (som Gnisten 238) er der Mulighed for en noget større Indflydelse, særlig maaske i Begyndelsen. Nedenfor skal der gøres et Forsøg paa at vurdere denne Indflydelse.

Gnistens Karakteristik.

Med Opstillingen afbildet ovenfor i Fig. 7 faar man samtidig optaget et Billede af Gniststrømmen og af den paa Gnistrummet virkende Spænding. Oscillogrammet giver altsaa sammenhørende Værdier af Spænding og Strøm, og man er følgelig i Stand til at tegne Gnistens e - i -Karakteristik. I Fig. 15 er der i C_o og V_o givet stærkt forstørrede

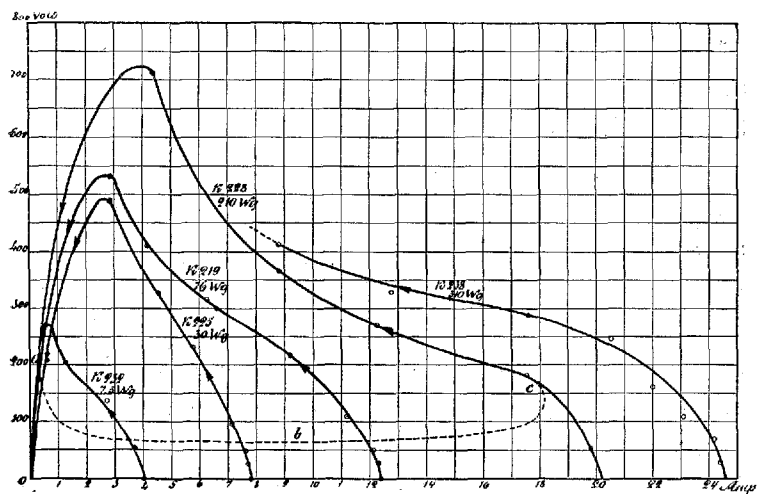


Fig. 16.

Spænding — Strøm — Karakteristiker for Gnister af forskellig Effekt.

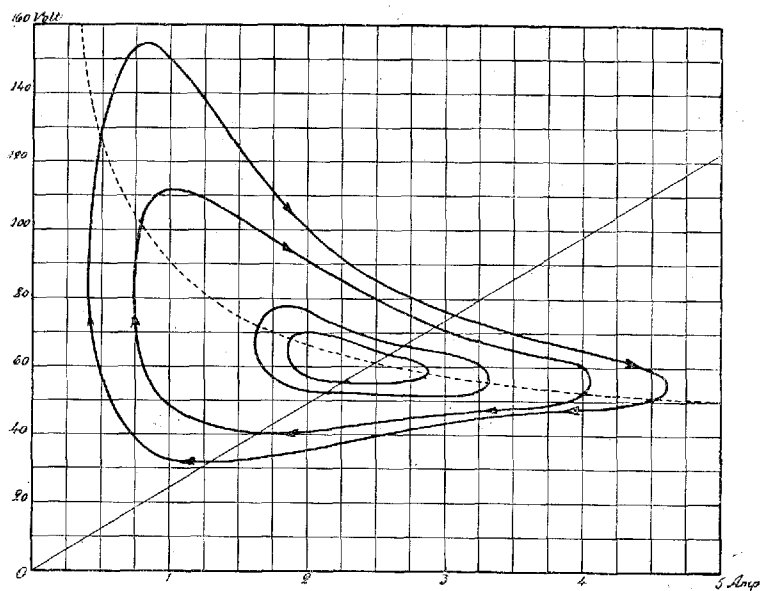


Fig. 17.

H. Th. Simons Buekarakteristiker reproducerede til Sammenligning med Gnistkarakteristikerne i Fig. 16.

Billeder af Strøm- og Spændingsoscillogrammet Nr. 238, der svarer til en Gnist med Effekten 310 Watt (50 Gnister pr. Sek.), og i Fig. 16 ses i Kurven mærket *K 238* den tilsvarende *e-i*-Karakteristik, d. v. s. den Del af den, som kunde bestemmes nogenlunde sikkert af Dobbeltoscillogrammet. I samme Figur er Karakteristikerne indtegnet for ialt 5 af de Gnister, hvis Strømkurver er gengivet ovenfor i Fig. 12. Man kan ikke undgaa at lægge Mærke til, at alle Kurver er af samme Type. I Fig. 17 er til Sammenligning gengivet et Sæt af de dynamiske Karakteristiker, H. Th. SIMON har fundet for Duddell-Poulsen-Lysbuen ved Svingninger af første Art.* Man vil bemærke en paafaldende Lighed mellem Gnist og Buekarakteristikerne. Forskellen hidrører vistnok i Hovedsagen alene fra den Maade, hvorpaa Strømmen varierer i de to Tilfælde. Ved Duddellbuen pulserer Strømmen mellem en lavere og en højere Grænse eller udfører cykliske Variationer om en vis Gennemsnitsværdi. Ved Gnisten aftager den acyklisk fra en vis højere Værdi til Nul. Karakteristiken gennemløbes herved i den Retning Pilene antyder. Hvis Gnisten ikke gik ud, men Strømmen paa en eller anden Maade bragtes til at vokse op igen, naar for Eks. Punktet *a* paa 223-Kurven i Fig. 16 var naaet, vilde Spændingen følge en Kurve som *a b c*, og man vilde have en sluttet Kurve som i Simons Tilfælde.

Gnistkurven ved atmosfærisk Luft.

Saa længe Gnisten er enkelt, synes Gnistkurven i et Medium som Brint uafhængig af de fleste Forhold, for Eks. af Afbryderkantens Skarphed. Deler Gnisten sig op i to eller flere efter hinanden følgende Udladninger, bliver Gnistoscillogrammet uregelmæssigt, som vi har set, og breder sig

* Phys. Zeitschrift. 7, 444, 1906.

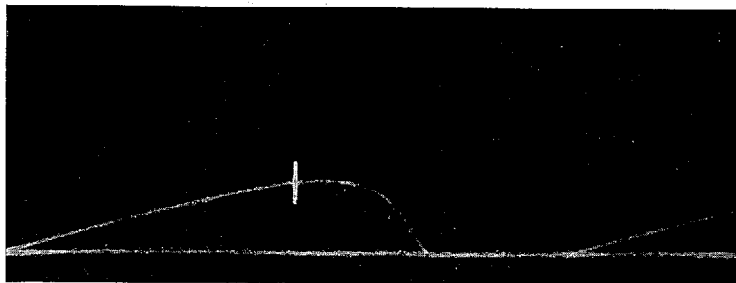


Fig. 18 a.

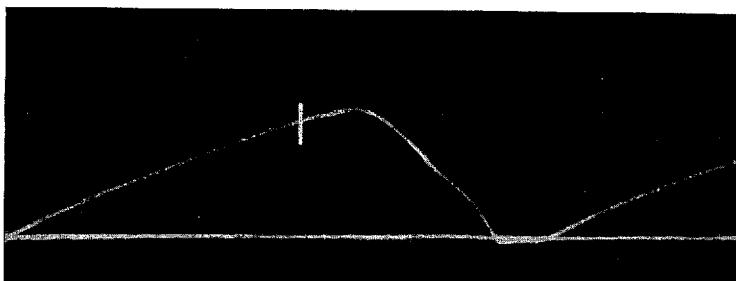


Fig. 18 b.

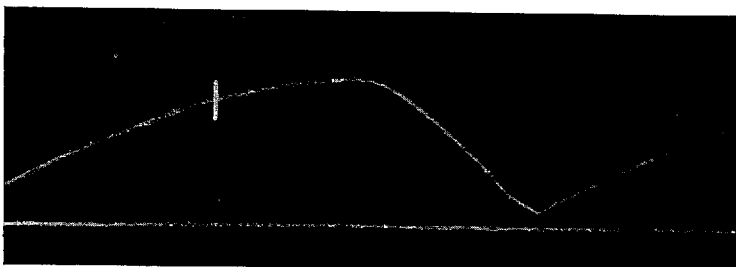


Fig. 18 c.

Oscillogrammer for Afbrydning af en induktiv Strømkreds i Luft. Gnisten begynder paa det afmærkede Sted af Kurven. Man vil bemærke, at Strømmen endnu vokser nogen Tid, efter at Gnisten er begyndt, paa Grund af Gnistens ringe Modstand.

Karakteristisk er Gnistens Langvarighed i Forhold til Gnisten i Brint.

navnlig ud. Ethvert Forhold, som kan bevirke en Opdeling, for Eks. Fejl i Afbryderkanten, bidrager derfor til en Udbredelse af Gnistkurven, altsaa til at gøre Gnisten mere langvarig. Iøvrigt afhænger Gnistkurven for en usammensat

Gnist naturligvis af Karakteren af den Luftart, der fylder Rummet, i hvilket Afbrydningen finder Sted. Til Belysning heraf udførtes enkelte Forsøg i atmosfærisk Luft. Opstillingen var herved stadig den i Fig. 7 viste. Fig. 18 *a—c* giver tre Oscillogrammer laante fra disse Forsøg.

Værdierne for Gnisteffect og Spænding er anført i hestaaende Tabel. Selvinduktionen var i alle Tilfælde 31.3 Millihenry.

Osc.	Fig.	W_g	E
		Watt	Volt
K 146	18 <i>a</i>	60	26.8
K 148	18 <i>b</i>	225	42.5
K 149	18 <i>c</i>	300	52.0

Gnisten svarende til Oscillogrammet K 148 kan, hvad Energiindholdet angaar, sammenlignes med Gnisten svarende til Oscillogrammet K 223 afbildet i Fig. 12. Men Gnisten i Luft varer 8 Gange saa længe som Gnisten i Gas. Varigheden var i det gængsne Forsøg ved den største Effect saa stor, at Gnisten endnu ikke var ophørt, i det Øjeblik Kvægsølvstraalen paa ny — efter $\frac{1}{100}$ Sek. — sluttede Kredsen.

Det er interessant at sammenligne Gnisteffecten ved Gas og Luft. I Fig. 19 er to saadanne Sammenligninger udført. Gnisteffecten vokser ved Overgangen fra Gas til Luft, men den stiger ikke nær i samme Forhold som Gnistkurvens Bredde. Hvad der bringer den til at vokse, er sikkert alene den Omstændighed, at det i Kredsen indskudte Batteri, der frembringer den i Selvinduktionen opmagasinerede Energi, ved Luft bidrager væsentlig til Gnistens Energi, hvad der ikke er Tilfældet ved Gas. Det ligger atter i Gnistens ringe Modstand. (En stor Bredde betød en lille Værdi for Koefficienten b i Udtrykket for Gnistkurven, og en lille Værdi for b be-

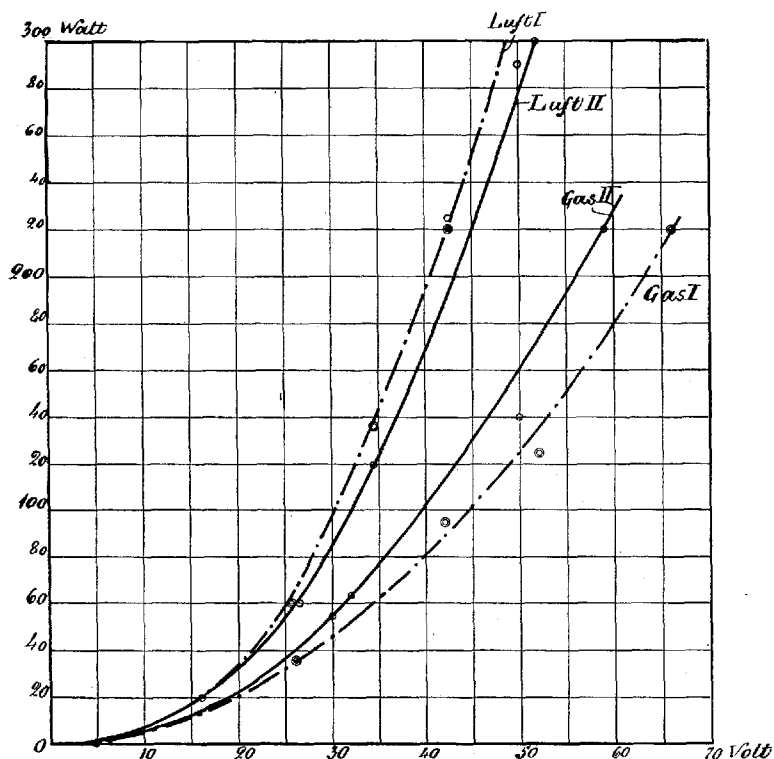


Fig. 19.
Gnisteeffekten i Belysningsgas og Luft.

tød atter en lille Værdi for Koefficienten μ i Udtrykket $r_g = \mu t^2$ for Gnistens Modstand). Modstanden i Gnisten er faktisk til at begynde med saa ringe, at Strømmen i nogen Tid vedbliver at vokse, efter at den metalliske Kortslutning af Kredsen er ophørt, saaledes som det fremgaar af Fig. 18, hvor Øjeblikket for den metalliske Kortslutnings Afbrydning er afmærket.

Fuldstændigere Teori for Gniststrømmen.

De simple og konforme Resultater, der er fremstillede ovenfor, og særlig maaske den Omstændighed, at alle de betragtede Gnistkurver med god Tilnærmelse kunde afbildes ved et og samme Udtryk, synes afgjort at tale for, at den Modstand, Kredsen har rummet udenfor Gnistrummet, og den konstante elektromotoriske Kraft, som Kredsen som Regel har indeholdt, har været af ringe Indflydelse. Særlig Vægt har det maaske i denne Forbindelse, at Resultaterne mærkede Q og R i Fig. 13 passede ret godt ind i Kurven, tegnet ved Hjælp af de øvrige Resultater. Q - og R -Resultaterne hidrørte nemlig som anført fra Forsøg, ved hvilke Kredsen ingen væsentlig Spænding indeholdt i Afbrydningsøjeblikket, og ved hvilke Kredsens Modstand var ganske forsvindende. Yderligere bekræftedes Antagelsen om, at vi i Almindelighed og navnlig ved ikke for kraftige Gnister kunde se bort fra Modstand og elektromotorisk Kraft, af Tabellerne pag. 20 over Gnistens Modstand og Spændingsfald. Alligevel vilde det være af en vis Interesse at prøve Indflydelsen af Kredsens ydre Modstand r og dens konstante Spænding E noget nærmere. Et Forsøg herpaa er gengivet i det følgende.

Hvis Gnistens Modstand ligesom ovenfor sættes til μt^2 , bliver Differentialligningen for Gniststrømmen:

$$(1) \quad E - L \cdot \frac{di}{dt} = i \mu t^2 + i r$$

eller

$$(2) \quad \frac{di}{dt} + \left(\frac{\mu}{L} t^2 + \frac{r}{L} \right) i - \frac{E}{L} = 0.$$

Integralet er

$$(3) \quad i = e^{-\frac{\mu}{3L}t^3 - \frac{r}{L}t} \cdot \left[\bar{i} + \frac{E}{L} \int e^{\frac{\mu}{3L}t^3 + \frac{r}{L}t} dt \right],$$

hvor $\bar{i}$ betegner Begyndelsesværdien for Gniststrømmen.

Vi rækkeudvikler $e^{\frac{\mu}{3L}t^3 + \frac{r}{L}t}$, hvorved vi foreløbig nøjes med at medtage de to første Led, d. v. s. $1 + \frac{\mu}{3L}t^3 + \frac{r}{L}t$. Herved bliver Løsningen af Problemet

$$(4) \quad i = e^{-\frac{\mu}{3L}t^3 - \frac{r}{L}t} \left[\bar{i} + \frac{E}{L} \left(t + \frac{\mu}{12L} \cdot t^4 + \frac{r}{2L} \cdot t^2 \right) \right].$$

Vi anvender Teorien paa Oscillogram 162, der er vist i Fig. 20 A. L var $33.3 \cdot 10^{-8}$ Henry. Kredsens Modstand var 1.45 Ohm, E 61.5 Volt og $\bar{i}$ 14.3 Amp. Af Oscillogrammet findes $b = \mu/3L = 0.354 \cdot 10^9$. For Kurvepunktet med Abscissen 5, hvortil svarer $t = 5 \cdot 10^{-2}/38 = 13.15 \cdot 10^{-4}$ Sek., bliver $\frac{E}{L} \cdot t = 2.42$, $\frac{\mu}{12L} t^4 = 0.203 \cdot t$, $\frac{r}{2L} \cdot t^2 = 0.0286 t$. Af disse Tal sluttes, at det op til Abscissen 5 eller i ethvert Fald nær op derimod vil være tilladeligt at sætte

$$(5) \quad i = e^{-\frac{\mu}{3L}t^3} \cdot e^{-\frac{r}{L}t} \left(\bar{i} + \frac{E}{L} t \right).$$

Dersom E og r begge var Nul, vilde Strømmen være bestemt ved Udtrykket

$$(6) \quad i' = e^{-\frac{\mu'}{3L}t^3} \cdot \bar{i},$$

hvor μ' er den Værdi for μ , der svarer til den formindskede Gnisteffekt. Spørgsmaalet er nu, med hvor stort et Beløb W_g vilde formindskes, dersom E og r var Nul. Den Del af Gnisteffekten, der skyldes E , er givet ved

$$(7) \quad AW_g = \int_0^{t_g} (E - ir) i dt,$$

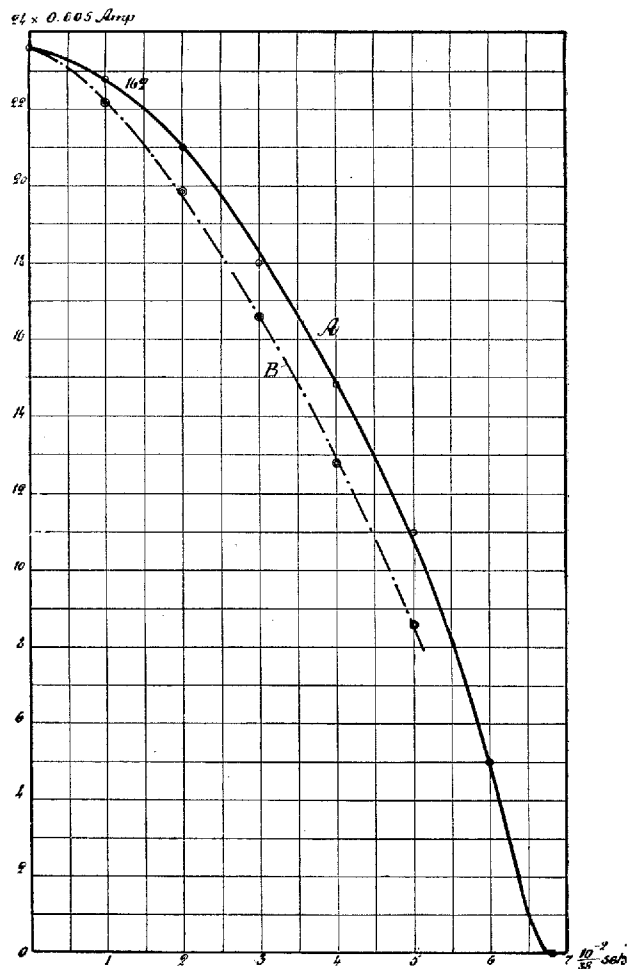


Fig. 20.

Indflydelsen af Kredsens Modstand r og af den konstante elektromotoriske Kraft E paa Oscillogrammet. A er det iagttagne Oscillogram, B det man vilde have faaet, hvis r og E havde været Nul. I det betragtede Tilfælde var Kredsens Selvinduktion $L = 33.3 \cdot 10^{-3}$ Henry, $r = 1.45$ Ohm, $E = 61.5$ Volt, Strømmens Begyndelsesværdi $i = 14.3$ Amp. og Gnisteffekten ved 50 Gnister pr. Sek. 215 Watt (direkte iagttaget).

hvor x_2 betyder Gnistens Varighed. AW_g kan findes ved grafisk Integration af Oscillogrammet og en Kurve over Variationen af $E - ir$ med t . Paa den Maade fandtes for

Oscillogrammet 162, Fig. 20 A $AW_g = 38$ Watt, medens W_g var 215 Watt. Den konstante Spænding E har altsaa i det betragtede Tilfælde sat Gnisteffekten $\frac{38}{215} \cdot 100 = 17.7\%$ op. Omvendt svarer $\frac{\mu'}{3L}$ til en 17.7% formindsket Effekt og bliver derfor 17.7% større end $\frac{\mu}{3L}$, idet μ ligesom b er omvendt proportional med den i Gnisten indeholdte Effekt. Af (5) og (6) faas nu for den reducerede Strøm i'

$$(8) \quad i' = i \cdot e^{-\frac{(\mu' - \mu)}{3L} t} \cdot e^{\frac{r}{L} t} \cdot \frac{\bar{i}}{\bar{i} + \frac{E}{L} t}.$$

I efterfølgende Tabel er en Række Talværdier for i'/i anført. De tilsvarende reducerede Strømme i' er indført i Fig. 20 og bestemmer Kurven B . Denne er af samme Type som den direkte iagttagne og giver en Forestilling om Indflydelsen af den konstante Spænding paa Gnistoscillogrammet. Undersøgelsen bekræfter, at denne Indflydelse er relativ ringe, selv ved en ret kraftig Gnist. Den gør sig stærkest gældende ved Gnister af stor Intensitet, fordi disse Gnisters Modstand er forholdsvis ringe. Vi har ovenfor behandlet Forsøgsresultaterne, der blev indvundne ved Opstillingen i Fig. 7, som om E og r var Nul. Det betyder, at vi har tillagt Gnistoscillogrammet en til en vis Grad falsk Ligning,

t	$e^{-\frac{\mu' - \mu}{3L} t}$	$e^{\frac{r}{L} t}$	$\frac{\bar{i}}{\bar{i} + \frac{E}{L} t}$	i'/i
Sek.				
1 = $2.63 \cdot 10^{-4}$	0.999	1.010	0.966	0.976
2 = 5.26 —	0.991	1.023	0.935	0.949
3 = 7.89 —	0.970	1.034	0.910	0.914
4 = 10.52 —	0.930	1.047	0.884	0.861
5 = 13.15 —	0.868	1.058	0.862	0.798

nemlig den som tilkommer det reducerede Oscillogram. Imidlertid ses det, at det virkelige Oscillogram i det hele og store har samme Form som det reducerede. Det vil for b give en mindre Værdi end det reducerede. Til Gengæld tilskriver vi det en større Effekt, saaledes at det maa ventes, at Produktet $b W_g$ bliver nogenlunde det samme, som man vilde finde ved det reducerede Oscillogram. En Prøve herpaa blev udført ved Oscillogrammet 162. Herved fandtes for det direkte iagttagne Oscillogram: $W_g = 215$ Watt, $b = 0.354 \cdot 10^9$, $b W_g = 76 \cdot 10^9$, for det reducerede Oscillogram: $W'_g = W_g - \Delta W_g = 177$ Watt, $b' = 0.475 \cdot 10^9$, $b' W_g = 84 \cdot 10^9$. Forskellen er 10 %, men det maa erindres, at der her er Tale om et Tilfælde, hvor E gør sig relativt stærkt gældende. At Talværdien for Produktet $b W_g$ afviger ret stærkt fra Værdien fundet ovenfor skyldes, som det senere viste sig, at Gnisten i Osc. 162 var begyndt at degenerere, d. v. s. dele sig op i flere Enkeltbuer.

Teori for multipel Kommuttering.

De ovenfor fremstillede Erfaringer aabner Mulighed for teoretisk at behandle visse vigtige Kommutteringsproblemer. Et af disse angaar Overskæring af den strømførende Leder

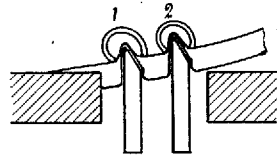


Fig. 21.

Multipel Kommuttering. Først er Strømkredsen afbrudt ved 1, derefter, endnu inden Gnisten ved 1 er slukket, ved 2. Der optræder da to Gnister, gennem hvilke Gniststrømmen passerer i Række.

ved to eller flere isolerende Kanter, enten samtidig eller til hurtig paa hinanden følgende Tidspunkter. Fig. 21 antyder en saadan Overskæring. Vi betegner en Kommuttering med saadan dobbel eller flerdobbel Overskæring som en multipel Kommuttering. Først er i Fig. 21, tænker vi os, Gnisten 1 dannet, derefter, endnu inden 1 er slukket,

Gnisten 2. Strømmen gaar da en Tid i Række gennem 1 og 2.

Vi nøjes her med at betragte det Tilfælde, hvor de to Overskæringer finder Sted praktisk set samtidig. For Strømkredsen gælder da, naar man ser bort fra ydre Modstand og fra elektromotorisk Kraft, der ikke induceres i Kredsens Selvinduktion L :

$$(1) \quad -L \cdot \frac{di}{dt} = 2r_g i = 2i\mu_2 t^2,$$

hvor r_g er Modstanden i hver enkelt Gnist givet ved $r_g = \mu_2 t^2$. Løsningen paa denne Ligning er

$$(2) \quad i = \bar{i} e^{-\frac{2\mu_2}{3L} t^3} = \bar{i} e^{-2b_2 t^3},$$

idet $\bar{i}$ er Værdien af Strømmen til Tiden $t = 0$ d. v. s. ved Afbrydningens Begyndelse. Dersom W_g nu betyder den hele i L opmagasinerede Effekt, maa b_2 være bestemt ved

$$(3) \quad b_2 = 265 \cdot 10^9 \left/ \left(\frac{W_g}{2} \right) \right.$$

Ved en enkelt Overskæring vilde Strømmen være bleven

$$(4) \quad i = \bar{i} e^{-b_1 t^2},$$

hvor

$$(5) \quad b_1 = 265 \cdot 10 / W_g = \frac{b_2}{2}.$$

Udtrykket for Strømmen ved dobbelt Overskæring kan altsaa skrives

$$(6) \quad i = \bar{i} e^{-4b_1 t^2},$$

der viser, at Strømmen falder af til sin halve Værdi i Løbet af en Tid, der er $\sqrt[3]{4} = 1.59$ Gange kortere end ved enkelt Overskæring. Strømoscillogrammets Bredde bliver altsaa $1/1.59 = 0.629$ Gange Bredden ved enkelt Overskæring.

Teori for en opdelt Gnist.

Ved uregelmæssig Overskæring af Straalen og ved større Gnisteffecter deler Gnisten sig op i to eller flere Udladninger. Denne Gnistens Opdeling ytrer sig, som vi har set, i en Udtværing af Gniststrømsoscillogrammet og i, at dette antager Trappeform med et Trin for hver ny Udladning. Det er ikke let at afgøre, om to eller flere af de successive Udladninger kan bestaa samtidig. Gaar vi ud fra, at det ikke sker, er det let at opstille en Teori for den opdelt Gnist, d. v. s. for Strømmen gennem den.*

Hvis den første Udladning sætter ind til Tiden $t = 0$ og varer til Tiden $t = t_1$, er Strømmen i dette Interval givet ved:

$$(1) \quad i = \bar{i}_1 e^{-b_1 t^3},$$

hvor

$$(2) \quad b_1 = 265 \cdot 10^9 / W_g,$$

og hvor atter

$$(3) \quad W_g = \frac{50}{2} \cdot \bar{i}_1^2 L.$$

Hvis den næste Udladning varer fra $t = t_1$ til $t = t_2$, gælder for denne Tid

$$(4) \quad i = \bar{i}_2 \cdot e^{-b_2 (t - t_1)^3},$$

hvor $\bar{i}_2$ er den Værdi, hvortil Gniststrømmen var aftaget til Tiden $t = t_1$ altsaa

$$(5) \quad \bar{i}_2 = \bar{i}_1 \cdot e^{-b_1 t_1^3},$$

og hvor b_2 beregnes af $\bar{i}_2$ paa samme Maade som b_1 beregnes af $\bar{i}_1$. En tredje Udladnings Strøm beregnes na-

* Det maa dog i denne Forbindelse bemærkes, at P. O. Pedersen har fundet, at to eller flere bueformede Udladninger under visse Omstændigheder kan bestaa samtidig. Sml. Vidensk. Selsk. Skrifter. Naturv. og Mathem. Afd. 8. Række. II, 4 pg. 253.

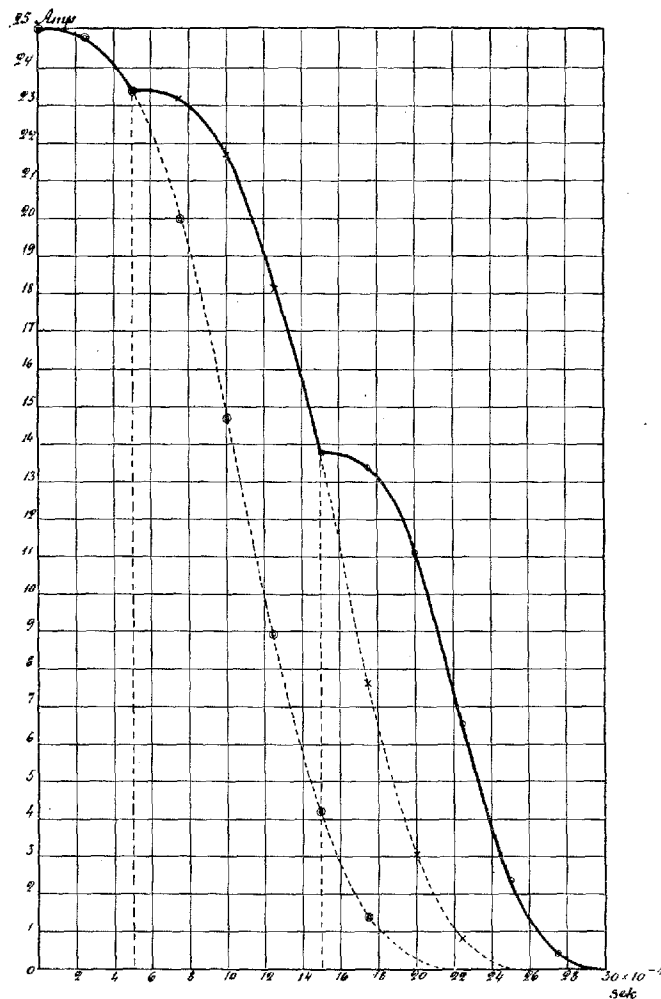


Fig. 22.

Gniststrømmen ved en opdelt Gnist. Til Tiden $5 \cdot 10^{-4}$ Sek. dannes en ny Udladning og den første afbrydes, til Tiden $15 \cdot 10^{-4}$ Sek. forsvinder den anden Udladning og erstattes af en tredje. $L = 32 \cdot 10^{-3}$ Henry, $i_1 = 25$ Amp.

turligvis analogt. I Fig. 22 er, til Belysning af Teorien, det beregnede Gniststrømsoscillogram gengivet for Tilfældet

$$i_1 = 25 \text{ Amp.}, L = 32 \cdot 10^{-3} \text{ Henry}, t_1 = 5 \cdot 10^{-4} \text{ Sek.}, \\ t_2 = 15 \cdot 10^{-4} \text{ Sek.}$$

Ved Punktering er antydnet, hvorledes Kurverne vilde være forløbet, hvis en ny Udladning ikke var dannet. Ligheden med de iagttagne Gniststrømsoscillogrammer er, som det ses, udpræget, saaledes at der vel næppe kan være Tvivl om, at den opstillede Teori i Hovedsagen er rigtig.

Det foreliggende Arbejde er udført med Støtte fra Carlsbergfondet, hvis Direktion jeg hermed bringer min bedste Tak. Gnistfotografier og Oscillogrammer er optaget af Hr. Ingeniør, cand. polyt. E. KLENOW. Jeg er Hr. Klenow taknemlig for den udmærkede Bistand, han har ydet mig.

Den polytekniske Lærestalt: Fysisk Laboratorium II.

Juli 1923.