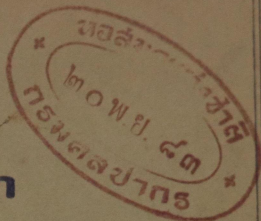


๑๖๒ พ.ศ. ๒๔๖๐

1620

5383



ตำรา
ว่าด้วย
เทคนิคฟรีเควนี่ซึ่สูง
โดย
นายนาวาโท ชลี สีนจู้โสภณ
เล่ม ๒
พิมพ์ครั้งที่ ๑



537

๕ 256๗

๒๔๘๓

พิมพ์ที่ โรงพิมพ์

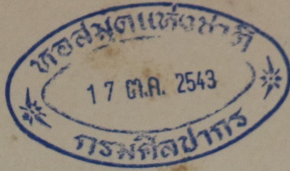
กรุงเทพบรรณาคาร

สี่กั๊กพระยาศรี พระนคร

จนวาทิตการณ ยี่สิบเอ็ดถนน พ.ศ. ๒๔๘๓

๕๓๗

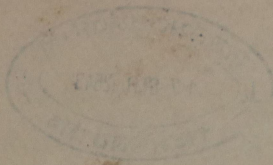
0700



ตำรา
ว่าด้วย
เทคนิคฟรีเควนี่สูง
โดย
นายหาวาโท ชลี สิ้นธุโสภณ
เล่ม ๒
พิมพ์ครั้งที่ ๑



๒๔๘๓



กรม
มหาด

ประชุมคณะพิเศษ

ตาม

มติที่ประชุม

เรื่อง

๑. ให้จัดพิมพ์

เลขห้อง 214
เลขหมู่ 537
เลขที่ 8 2567

เลขทะเบียน

คำนำ

เนื่องจากตำราว่าด้วยการช่างอันเกี่ยวแก่ฟรโคเวนซึ่งสูงหรือทักกัน
โดยทั่วๆ ไปว่าตำราวิทยุนี้ ในราชนาไทยเรา ที่เป็นภาษาไทยยังมี
อยู่น้อยไม่พอกับความต้องการ บรรดาผู้ทบทวนหาที่สอนด่อนมากใช้
ตำราภาษาต่างประเทศเป็นหลัก นักเรียนจำต้องเสียเวลาในการคัดลอก
และทำการเขียนภาพประกอบอยู่เสมอ เพื่อหวังให้การเล่าเรียนของ
ทหารได้ดำเนินไปโดยรวดเร็วตามที่ควรจะเป็น และการที่จะให้นักเรียน
ข้อตำราภาษาต่างประเทศคำอ่านก็ไม่อาจจะทำได้ ทั้งนี้เนื่องจากผู้
ศึกษายังมีความรู้ภาษาไม่พอเพียงประการหนึ่ง และราคาหนังสือที่เป็น
ภาษาต่างประเทศนั้นแพงมากอีกประการหนึ่ง เพื่อจะให้การศึกษ
ของทหารที่กองบัญชาการได้ก้าวหน้าไปรวดเร็วตามกาลสมัยตนเอง จึง
ได้พยายามเรียบเรียงตำราว่าด้วยเทคนิคฟรโคเวนซึ่งขึ้นสำหรับเป็นหลัก
ใช้ในการสอนนักเรียนจำดำรง, จำ และ นายทหาร ตามแผนความรู้
ของผู้เรียนที่จะสามารถรับไว้ได้เพียงใด แต่ความมุ่งหมายของใช้วิชา
คำนวณซึ่งสูงรวมอยู่ด้วย ความจำเป็นที่ควรนำมาพร้อมด้วยนักเพื่อ
หวังที่จะประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย จึงได้แบ่งชั้นของหนังสือออกไป
เป็นประเภท ที่ใช้คำนวณซึ่งสูง และไม่ใช้คำนวณซึ่งสูง แยกเด็ดขาด
ออกจากกัน เมื่อเป็นเช่นนี้ผู้อ่านควรจะเลือกเฉพาะแค่ตอนที่อยู่ใน
ความต้องการ อันเห็นว่าเหมาะแก่แผนความรู้มาพิจารณาประกอบการ

(๖)

ศึกษา ตอนใดที่เห็นว่าเกินกว่าพินความรับผิดชอบที่จะหาความเข้าใจได้
ก็ยกเอาไว้เป็นเรื่องพิเศษสำหรับผู้ที่สนใจจะได้อรรถาธิบายประโยชน์ได้.

ในการเรียบเรียงตำราเล่มนี้ ผู้ที่ข้าพเจ้าต้องขอกล่าวขอบพระ
คุณและขอบใจในความเอื้อเฟื้อสนับสนุนด้วยประการต่างๆ ไว้ด้วย คือ

๑. กรมเสนาธิการทหารเรือได้สนับสนุนส่งเสริมให้ทางการอนุมัติ
เงินสำหรับดำเนินการพิมพ์ตำราขึ้น

๒. นายนาวโท ส่งบ จริญญา รักษาการผู้บังคับกอง
สัญญาบัตรทหารเรือ ได้ช่วยเหลือตรวจตรา แก้ไข ปรับปรุง ต้นฉบับ
ตอนใดที่ไม่ดีให้ดีขึ้น และแก้ปัญหาเคลือบคลุมต่างๆ ให้กระจ่างยิ่ง
ขึ้น กับยังได้อเอื้อเฟื้อสนับสนุนในทางกำลังใจให้มีความที่จะสร้างตำรา
ชุดนี้ ทั้งยังให้ตำราใช้ประกอบการเรียบเรียงอีกด้วย

๓. นายเรือโท ม.ต. สันธยา ย อิศรเสนา นายช่างกลกอง
สัญญาบัตรทหารเรือ ได้เอื้อเฟื้อให้พิมพ์ตำราต่างๆ ประกอบในการ
เรียบเรียงหลายเล่มอย่างหนึ่ง และได้ช่วยเหลือตรวจแก้ไขอีกอย่างหนึ่ง

๔. พระยานิพนธ์พจนารถี และคุณเสนาบดี คางศิริ โรงพิมพ์
กรุงเทพบรรณาการ ได้กรุณาแนะนำในวิชาการพิมพ์ และช่วยเหลือ
เอาใจใส่ให้หนังสือนี้เป็นรูปเป็นร่างสำเร็จได้ในเวลาอันรวดเร็วอย่างยิ่ง

๕. นายชาญ เกตุสังข์ ได้ใช้เวลานอกเวลาราชการพิมพ์ต้นร่าง
เป็นเวลานานวันทั้งกลางวันและกลางคืน ถ้าจะคิดเวลาชั่วโมงกันแล้ว
นับว่าเป็นราคาสูงมาก

(ค)

๖. จ.ค. บุญอิน ไชยชนะ และ จ.ค. พิศัย ห่อองกุล ได้
ช่วยเขียนรูปเพื่อใช้ทำปด็อก

การที่รับแรงให้หนังสือเล่มนี้ออกพิมพ์โฆษณาสำหรับใช้เป็นหลัก
เล่าเรียน ก็โดยมีความประสงค์อย่างแรงกล้าจะให้ได้นหนังสือเป็น
คำหับคำราพอเป็นแนวไปพดาก่อน ข้าพเจ้ารู้สึกปลามปด็อกและยินดี
เป็นอย่างที่สุดหนังสือนี้ได้คลอดออกนากจากโรงพิมพ์ และเนื่องด้วย
เวลาเร็วร้อนและจำกัดอย่างที่สุด จึงไม่อาจจะสามารถหลักเลียงขอ
บกกพร่องทงหลายเหล่งอื่นจะพงเกิดขึ้นใดทงทางระเบียบ การจัดวางรูป
หนังสือ ความเรียบรือยในการพิมพ์ และความกลาดเคลื่อนในอื่นจะพง
เกิดขึ้นใดทงทางภาษาและทางเทคนิค เพราะฉะนั้นเมื่อท่านผู้รคนใด
ได้พบข้อบกพร่องทงหลายเหล่งทกถ่าข้างคณ ก็ขอได้โปรดกรณา
แนะนำและช่วยแก้ไขความบกพร่องอื่นไม่สมควรจะมีได้ ในโอกาสดัง
ให้ข้าพเจ้าทราบไว้ด้วย จะขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง.

นายนาทาโท ชลี สันธุโสภณ

ก.ค. ๒๔๗๓

หนังสือที่ใช้ในการเรียบเรียง

1. L. S. Palmer : Wireless Principles and Practice.
: Wireless Engineer.
2. Thomas : Theory and Design of Valve oscillators.
3. Vilbig, : Lehrbuch der Hochfrequenztechnik.
4. Kammerloher : Hochfrequenz Technik.
5. Barkhansen : Lehrbuch der Elektronen - Röhren und
ihrer technischen Anwendungen. •
6. หนังสือรายเดือน Proceedings of the Institute of Radio
Engineers บางเล่ม. •
7. หนังสือรายเดือน The Wireless Engineer บางเล่ม.
8. บรรดาสมิตินิตต่างๆ ที่ข้าพเจ้าได้รวบรวมไว้เมื่อท่านศาสตราจารย์
Fassbender และท่าน ดร. Zinke อาจารย์ผู้ช่วย ประจำแผนก
เทคนิคฟิสิกส์สูง ที่โรงเรียนการช่างชั้นสูง (Technische
Hochschule) นครกวมเบอร์ดิท บรรยายเมื่อปี ๒๔๗๐-๗๑ และ ๗๒

ข้อความเป็นเบื้องต้น

เทคนิคว่าด้วยฟรีควเอนซ์สูง ในสมัยปัจจุบันนี้ มีความหมายโดยทั่วไปว่า เป็นเทคนิคในส่วนหนึ่งของเทคนิคไฟฟ้า คือ หมายถึงการอ้างอันว่าด้วยการนำอาการกลดของไฟฟ้าที่กลดไปมาด้วยจังหวะรวดเร็วอย่างขั้วขนาใช้เป็นประโยชน์ ขอบเขตที่ใช้เป็นประโยชน์ส่วนใหญ่นั้น คือการส่งข่าวสารไปโดยไม่ต้องอาศัยสายลวดตั้งในวิธีการโทรเลข หรือ โทรศัพท์ ที่แล้วๆ มา ในขั้นเทคนิคฟรีควเอนซ์สูงนั้นมิได้จำกัดเขตดังไป แต่จะเพาะในเรื่องการทำให้เกิดอาการกลดไฟฟ้าด้วยจังหวะรวดเร็ว หรือจะเพาะแต่การแผ่กระจายและการรับอาการกลดทางไฟฟ้าเท่านั้นไม่ แต่ยังมีความจำเป็นอันจะต้องพาดพิงไปถึงอาการต่าง ๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในการส่งคำพูดหรือเสียงดนตรีโดยใช้สายลวด หรือโดยไม่ใช้สายลวดประกอบกันด้วย

ถ้าจะพูดกันตามหลักฟิสิกส์อันว่าด้วยเทคนิคฟรีควเอนซ์สูงแล้วก็คือการใช้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลงความแรงของสนาม แต่การที่จะให้เข้าใจอาการ ของเทคนิคฟรีควเอนซ์สูงได้ ก็จำเป็นจะต้องมีความรู้ความเข้าใจในเรื่องสนามแม่เหล็กไฟฟ้าด้วย จึงจะศึกษาเทคนิคว่าด้วยฟรีควเอนซ์สูงให้เข้าใจได้แจ่มแจ้ง

โดยเหตุที่หนังสือเล่มนี้ไม่มีความจำนงแต่เพียงให้รู้จักอาการ และความสัมพันธ์ในส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องวิทยุอย่างผิวเผิน ๆ เท่านั้น

(๑)

ยังมีความจำเป็นที่จะให้รู้ถึงหลักแห่งทางใช้การว่า ผู้รับส่งนามไฟฟ้า
อันใดแก่ คอนเดนเซอร์ แต่ผู้รับส่งนามแม่เหล็กอันใดแก่ขดลวด และเมื่อ
ตั้งทั้งสองนทางานร่วมกันแล้ว จะเกิดเป็นผู้อให้เกิดอาการกลดกทาง
แม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นภายในวงจรอันเรียกว่า ผู้รับส่งนาม แม่เหล็กไฟฟ้า
เป็นคน

แต่ในสมัยความก้าวหน้าในทางการสร้างหลอดสูญญากาศไปถึง
ขีดขั้นว่าไกลมากแล้ว ถึงกับได้เกิดมีผู้เขียนเป็นตำหรับตำราประกอบ
กับการคำนวณได้ผลใกล้เคียง ทั้งในทางทฤษฎี และทางปฏิบัติร่วมกัน
จนจึงได้นำเทคนิค อันว่าด้วยหลอดสูญญากาศ มาดัดว่าไว้ด้วยยาวพอ
สมควร แต่จะพูดกันตามจริงแล้ว ก็เป็นแต่เพียงหลักต่าง ๆ ที่ผู้จะนำ
หลอดไปใช้ควรรู้เท่านั้น หาได้กล่าวถึงการสร้างหลอดไม่ เพราะการ
สร้างหลอดสูญญากาศ หรือเรียกว่าหลอดอเล็กทรอน ซึ่งใช้ในการวิทย
นั้น เป็นเรื่องที่จะต้องศึกษาหาอ่านว่าด้วยเทคนิคอื่น ๆ อีกหลายอย่าง
ประกอบกัน และในเล่ม ๓ ของตำราชุดนี้ ก็ได้นำหลักแห่งการทำ
ให้เกิดมีอาการกลดกขึ้นโดยใช้หลอดสูญญากาศที่เรียกว่า หลอดขดลวด
เตเดอร่ามอเล็กโทรดไว้ด้วย ทั้งนี้เพื่อให้เหมาะ กับความต้องการ
ในการที่จะให้ผู้ศึกษาอันมีอาชีพในทางใช้เครื่องวิทยุได้เห็นประโยชน์ของ
การใช้หลอดสูญญากาศ หรือเรียกว่า หลอดอเล็กทรอนนั้นเสียใน
ขั้นหนึ่งก่อน และในเล่ม ๔ ซึ่งกำลังพิมพ์อยู่ ณบัดนี้ กล่าวถึงทฤษฎี
ของเครื่องทวิกำลังโดยใช้หลอดอเล็กทรอน ซึ่งนับว่าเป็นตอนที่ผู้

(๑)

หน้าที่เกี่ยวข้องกับการใช้หลอดอิเล็กตรอน ควรจะต้องรู้อย่างยิ่ง การ
ใช้หลอด อิเล็กตรอนในสมัยนี้ หาได้ใช้แค่เฉพาะในการ สื่อสารทาง
วิทยุ, ในการขยายเสียง และในภาพยนตร์เสียงดังที่เราได้เห็น และได้ยิน
อยู่เสมอเท่านั้นไม่ ยังมีใช้ในเครื่องมือที่ใช้ในการเดินเรือ และการ
สำรวจแผนที่ทะเล และการบินใหญ่ทางทดลองอีกเป็นอันมาก ฉะนั้น
สำหรับชาวเรือ อันมีหน้าที่เกี่ยวข้องอยู่กับเครื่องมือเครื่องใช้ที่ต้องใช้
หลอดอิเล็กตรอนแล้ว คงจะได้รับประโยชน์จากตอนที่ปรากฏในเล่ม ๔
บ้างไม่มากนักย่อย ส่วนเล่มต่อไปจะเริ่มด้วยอะไร และสมควร
จะจบลงเพียงใดนั้น ยังรับรองไม่ได้ แต่ว่าเวลาทางราชการ และ
โอกาสจะอำนวยให้ต่อไป ถ้าไม่มีอุปสรรคอันใดมาขัดขวาง ข้าพเจ้า
จะพยายามดำเนินการเรียบเรียงตำราว่าด้วยเทคนิคฟิสิกส์ซึ่งสนใจพอ
กับความต้องการของราชการ

สำหรับผู้ที่จะใช้ตำราประกอบในการสอนก็ดี ในการศึกษาด้วย
ตนเองก็ดี ข้าพเจ้าขอโอกาสแนะนำไว้เล็กน้อยว่า สิ่งใดที่กล่าว
ถึงวิชาในทางคำนวณก็ดี ในทางฟิสิกส์, วิทยาศาสตร์, และแมคคานิกส์
ก็ดี ผู้อ่านยังมิได้รับความสว่างพอ ขอได้โปรดค้นดูจากตำราที่ว่า
ด้วยการนั้นโดยละเอียดจึงจะได้ ความสนใจของข้าพเจ้าในเรื่องนี้
สามารถจะเขียนให้ผู้อ่านเข้าใจได้ทั่วกันหม่อมอยู่ประจวบกับ ก้อนหินขนาดใหญ่
วางอยู่บนอก ด้วยความไม่เกรงต่อคำติ หรือคำทักท้วงต่าง ๆ

(๒)

ที่ไม่สามารถจะเลี้ยงได้ นี้ จึงได้ระแคะโอกาสเปิดฉาก ให้ตำราออกมา
ปรากฏขึ้น ข้าพเจ้าขอวิงวอนท่านผู้รู้ทั้งหลายได้ช่วยกรุณาแก้ไข และ
แนะนำข้าพเจ้าอีกเป็นคำประสงค์ เมื่อได้พบสิ่ง ที่ควรจะดัดแปลงแก้ไข
อย่างไรให้ดีขึ้นได้แล้ว โปรดอย่ามีความเกรงใจในเรื่องจะแจ้งแก่ผู้
เรียบเรียงเลย.

ผู้เรียบเรียง

สารบัญ

คำนำ

ข้อความเบื้องต้น

หน้า

(ก)

(ง)

ตอน ๖

หลักเบื้องต้นของหลอดอิเล็กตรอน

๑. หลอดที่ไม่มีกริด (ไดโอด)

๓๐๓

๑. หลอดเบื้องต้น

๓๐๓

๒. การเคลื่อนไหวของอิเล็กตรอนในสุญญากาศ

๓๐๖

๓. อิเล็กตรอนเคลื่อนตัวออกจากเส้นลวดที่ถูกเผาด้วยโชน

๓๑๓

ก) การเคลื่อนไหวของอิเล็กตรอนในโลหะ

๓๑๒

ข) การแจกแจงความเร็วของอิเล็กตรอน

๓๑๔

ค) งานปลักตัวของอิเล็กตรอน

๓๑๗

ง) กระแสไฟฟ้าในตัว

๓๑๙

๔. การเผาคาโทดให้ร้อน

๓๒๕

ก. การเผาให้ร้อนโดยตรง

๓๒๕

ข. การเผาให้คาโทดร้อนทางอ้อม

๓๒๗

๕. เขตไฟฟ้าประจุในห้วงว่าง (Space charge)

๓๒๙

ก. หลอดทั่วไป

๓๒๙

ข. การแบ่งการกระจายไปบนเส้นในเขตไฟฟ้าประจุห้วงว่าง

๓๓๐

- ก. กฎของไฟฟ้าประจุห้วงว่าง (Space charge) ๑๓๗
- ง. เปรียบเทียบเส้นโค้งบอกลักษณะไฟฟ้าประจุห้วงว่างอันได้จากการคำนวณกับที่ทำการวัดได้อาการเดินของเส้นโค้งทางตำรา ๑๔๑
๖. เขตกระแสไฟเริ่มเดิน (Starting Current) ๑๔๕
๗. อิเล็กตรอนผนังตัวเข้าในโลหะ ๑๕๑
- ก. หลุดทั่วไป
- ข. กำลังงานที่เสียไปในอานอด (Anode dissipation) ๑๕๒
- ค. อิเล็กตรอนเซกันดารี ๑๕๔
๘. ความชันอิมิตชัน S_e และความต้านอิมิตชัน R_e ๑๕๕
- ก) ความชันอิมิตชัน ๑๕๕
- ข) ความต้านอิมิตชัน ๑๕๗

ตอน ๗

หลอดมิกริดเดี่ยว (ไทรโอด)

๑. หลุดทั่วไป ๑๖๕
๒. กำลังดันบังคับ ๑๖๖
๓. ตัวขกริฟ ๑๗๐
๔. กระแสไฟอิมิตชัน I_e ๑๗๓
๕. เส้นโค้งลักษณะไฟฟ้าประจุห้วงว่าง ๑๗๖

- ก) เส้นโค้งลักษณะกริด $I_e = f(U_e)$ ๓๗/๖
- ข) เส้นโค้งลักษณะฮาโนด $I_e = f(U_a)$ ๓๗/๗
- ค) การแสดงเส้นโค้งลักษณะของไฟฟ้าประจุห้วงว่าง
โดยวิธีห้วง (ทิวเขาของเส้นโค้งลักษณะ) ๓๗/๑๐
- ง) การแตกต่างของเส้นโค้งลักษณะผิดไปจากสูตร
ของไฟฟ้าประจุห้วงว่าง ๓๗/๓
- ๔) กระแสไฟเริ่มต้น ๓๗/๔
- ๕) อาการทำให้เกิดเป็นเกาะ ๓๗/๕
- ๖) การทำให้เส้นลักษณะลาดลงโดย $U_a = 0$ ๓๗/๓
๖. หลอดที่ไม่มีกระแสไฟกริด ๓๗/๕
- ก) หมู่เส้นโค้งลักษณะ ๓๗/๖
- ข) ตัวประจุสำหรับหลอด (S, D, R_i) ๓๗/๗
- ๔) ความชัน S' ๓๗/๘
- ๕) ดวฺรขกริฟฟ D ๓๗/๓
- ๖) ความต้านภายในหลอด R_i ๓๗/๓
๗. หลอดที่มีกระแสไฟกริด ๓๗/๘
- ก) การแบ่งแจกกระแสไฟกริด ๓๗/๘
- ข) การแจกกระจายกระแสไฟที่ปราศจากการแตก
เปลี่ยนแห่งอเล็กทรอนเซ็กชันดาร์ ๓๗/๘

๖) กฎแห่งการแจกกระจายกระแสไฟของทั้งค	๓๘๘
๖) กฎแห่งการแจกกระจายกระแสไฟของเบโดว์	๒๐๓
๗) การแจกกระจายกระแสไฟตามกฎของดั่งเง	๒๐๖
ค) การแจกกระจายกระแสไฟโดยการแตกเปลี่ยนข้อเด็ค	
ทรอนเซกกันดาร์	๒๑๐
๙) หลักทัวไป	๒๑๐
๖) หมู่เดินโค้งลักษณะ	๒๑๔
๗) เดินโค้งลักษณะที่ย้อยง	๒๑๕
๘. การวัดสัญญาณ	๒๑๓

ตอน ๘

หลอดมีหลายกริด

๑. หลักทัวไป	๒๒๐
๒. หลอดที่มีกริดไฟฟ้าประจุห้วงว่าง	๒๒๗
ก. หลักทัวไป	๒๒๗
ข. กระแสไฟมีมิตซ์ I_0	๒๒๘
ค. กระแสไฟอาโนด I_a	๒๓๑
ง. การหาตัวประจุ	๒๓๘
๓. การเปรียบเทียบเดินลักษณะที่หาได้ด้วยการคำนวณ	
กับที่หาได้ด้วยการวัด	๒๔๑

๓. หลอดที่มีกริดป้องกันหรือกริดกำบัง (Screen Grid) ๒๔.๓
- ก. หลักทั่วไป ๒๔.๓
- ข. กระแสไฟอมิซัน I_a ๒๔.๔
- ค. กระแสไฟอาโนด I_a ๒๔.๗
- ง. อิทธิพลของอิเล็กตรอนเซกันดารี กระทำแก่รูปทางเดินเส้นโค้งลักษณะ ๒๕.๓
๔. หลอดกริดกำบังกับกริดห้าม (เพนโทด) ๒๕.๕
- ก. หลักทั่วไป ๒๕.๕
- ข. การแจกกระจายโปเตนเชียล ๒๕.๖
- ค. กระแสไฟอมิซัน I_a ๒๕.๗
- ง. กระแสไฟอาโนด I_a ๒๕.๗
๕. ตัวประจำ ๒๖.๐
- ฉ. การเปรียบเทียบเส้นโค้งลักษณะที่คำนวณได้กับที่วัดได้ ๒๖.๒
๖. ชนิดของหลอดเพนโทดที่ใช้การ ๒๖.๖
- ๙ หลอดเพนโทดฟรีแควนซ์สูง ๒๖.๗
- ๑๐ หลอดเพนโทดฟรีแควนซ์ต่ำหรือเพนโทดสุดท้าย ๒๖.๗
๗. หลอดที่ทำการบังคับ ๒๗.๓
- ก) ความสามารถแห่งการบังคับกระแสไฟอาโนดด้วยการบังคับ ๒๗.๓
- ข) การแจกกระจายของโปเตนเชียล ๒๗.๔

จ	หน้า
ค) กระแสไฟอมิซัน I_o	๒๗๖
ง) กระแสไฟอาโนด I_a	๒๗๗
จ) การเปรียบเทียบสนามเส้นโค้งลักษณะที่คำนวณ ได้กับที่วัดได้	๒๗๘
๖. หลอดเอกโซด	๒๗๙
ก. หลักทั่วไป	๒๗๙
ข. กระแสไฟอาโนด I_a	๒๘๐
ค. สนามเส้นโค้งลักษณะ	๒๘๑
๗. หลอดออกโทด	๒๘๓
ก. หลักทั่วไป	๒๘๓
ข. กระแสไฟอาโนด I_a	๒๘๕
ค. สนามเส้นโค้งลักษณะ	๒๘๗
๘. ศิวประจําทางใช้กริรของหลอดที่มีหลายกริด	๓๐๒
ก. หลักทั่วไป	๓๐๒
ข. ความชัน	๓๐๓
α ความชันของหลอดที่มีกริดไฟฟ้าประจุห้วงว่าง	๓๐๓
β ความชันของหลอดกริดกํางังและหลอดเพนโทด	๓๐๔
γ ความชันของหลอดเอกโซด	๓๐๔
ค. ความชันผสมของหลอดบังกับคู่	๓๐๕
∞ วิเคราะห์ความหมาย	๓๐๕

β ความชันระยะสัมผัสของหลอดแยกโซด	๓๐๖
γ ความชันระยะสัมผัสของหลอดออกโทด	๓๐๖
ง) ความต้านภายใน R_i	๓๐๗
จ) ตัวขักริฟฟ	๓๐๗
ฉ) ตัวเกณฑ์ที่ก้ำกึ่ง	๓๐๘
๘. หลอดทึมกริดแต่ง (Regulating Grid)	๓๓๐
ก. หลอดทึมกริดแต่ง	๓๓๐
ข. หลอดทึมกริดก้ำกึ่งฟรีแควนซ์สูง เพนโทด และแยกโซด ทึมกริดแต่ง	๓๓๔
ค. การแต่งความชันของหลอดออกโทด	๓๓๖

ตอน ๕

หลอดสนามแม่เหล็ก

๑) วิถีของอิเล็กตรอนที่บินไปในสนามแม่เหล็กอันมีก้ำกึ่ง สม่ำเสมอทั่วหน้า ด้วยความเร็วประจำ	๓๓๘
ก. อาการเฉ	๓๓๘
ข. รัศมีแห่งความโค้ง และเวลาโคจรรอบวง	๓๓๔
๒) วิถีของอิเล็กตรอนที่บินไปในสนามแม่เหล็กไฟฟ้า อันมีก้ำกึ่งสม่ำเสมอทั่วหน้า	๓๓๘
ก. ความเบี่ยงเบน	๓๓๘
ข. ผลลัพธ์	๓๓๙

ตอน ๒

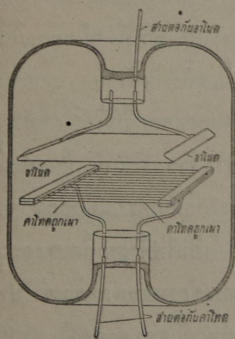
หลักเบื้องต้นของหลอดอิเล็กทรอนิกส์

(๑) หลอดที่ไม่มีกริด (ไดโอด)

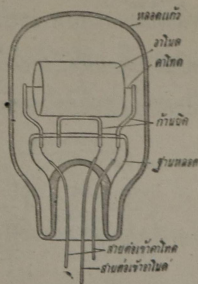
๑. หลักเบื้องต้น

หลอดว่างอากาศที่เรียกกันว่าหลอดสุญญากาศนั้นประกอบด้วยอิเล็กโทรดสองอัน ซึ่งเรียกว่าแอโนดอันหนึ่ง และคาโทดอีกอันหนึ่ง บรรจุอยู่ในภาชนะที่ได้สูบเอาอากาศออกเสียหมด ภาชนะที่ว่างโดย

มากเป็นหลอดแก้ว รูป ๓๖ และรูป ๓๗



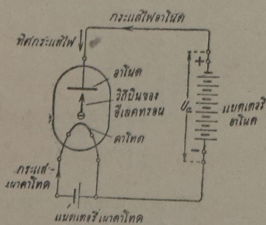
รูป ๓๖ หลอดอิเล็กทรอนิกส์
แอโนดเป็นแผ่น



รูป ๓๗ หลอดอิเล็กทรอนิกส์
มีแอโนดเป็นรูปกระบอก

แสดงให้เห็นรูปพรรณเบื้องต้นของหลอดอิเล็กทรอนิกส์ ชนิดที่ใช้อิเล็ก
โทรดแบน และชนิดที่ใช้อิเล็กโทรดเป็นรูปกระบอกตามลำดับ การจัด

สร้างอิเล็กโทรของหลอดอิเล็กทรอนที่ใช้การอยู่โดยทั่วไปนั้น ย่อม
ตกอยู่ในหลักแตรกฏเกณฑ์ของวิธีอันสามารถเป็นได้ทั้งสองทิศทาง
เมื่อทำให้คาโทดของหลอดอิเล็กทรอนร้อนจนลุกเป็นแสง แล้ว
เอากำบังคั่นเอาโนดไปต่อเข้ากับหลอดดั่งที่แสดงอยู่ในรูป ๓๗ จะเกิดมี
กระแสไฟไหลผ่านสุญญากาศ อันเป็นห่วงว่างอากาศอยู่ภายในหลอด
การที่ทำให้คาโทดร้อนขึ้น จะเป็นวิธีใดก็ตาม ผลย่อมแสดงเหมือนกัน
แต่ตามธรรมชาติในหลักแห่งทางใช้การของไฟฟ้าด้วยย่อมใช้วิธีที่แสดงตาม
รูป ๓๗ โดยที่สุญญากาศนั้นไม่มีสื่อไฟฟ้าหรือผู้นำไฟฟ้าอยู่ในตัว หรือ
จะกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือว่า เป็นฉนวนไฟฟ้า (อินสูลเตเตอร์) ฉะนั้นเมื่อ
จะให้ไฟฟ้าเดินผ่านสุญญากาศภายในหลอดไปได้แล้ว ก็จำเป็นต้องมีสื่อ
นำไฟฟ้าเป็นตัวสะพานต่อให้ โดยบรรจุสื่อเข้าไปในตัวสุญญากาศภายใน
หลอดเสียก่อน สื่อนำไฟฟ้าในสุญญากาศของหลอดนี้ก็คืออิเล็กทรอน
ซึ่งมีบ่อเกิดอยู่ที่คาโทดอันถูกเผาด้วยกระแสไฟฟ้าจนร้อนลุกเป็นแสงนั้น

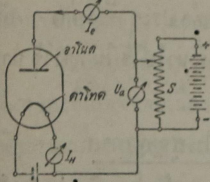


รูป ๓๗ วงไฟฟ้าเป็นหลักฐานสำคัญของ
หลอดอิเล็กทรอน

ธรรมชาติ (เปรียบเทียบกับรูป ๓๗)

เอง บรรดาอิเล็กทรอนที่ออกมาจาก
คาโทดนั้น เป็นไฟฟ้าลบเล็กๆ และถูก
อาโนดบวก ของหลอดดึงดูดเข้าไปหา
จึงเกิดอันไหวตัวออกจากคาโทดไปยัง
อาโนด ทิศทางเดินที่อิเล็กทรอนมี
ออกจาก คาโทดนั้น ตรงกันข้ามกับทาง
ไหลของ กระแสไฟฟ้าอันใช้กัน อยู่ตาม

อาการทำงานของหลอดนั้นจะได้แจ้งลักษณะของเส้นโค้งที่กระแสไฟอันไหลไปสู่แอโนด อันเป็นกระแสไฟที่เรียกว่ากระแสอิมิชั่น I_a อันอิมิชั่นขึ้นอยู่กับกำลังดันที่กระทำต่อแอโนด การทดลองวัดหาเส้นโค้งบอกลักษณะของหลอดนี้ทำได้ตามวงไฟที่ปรากฏอยู่ในรูป ๔๑ โดยปล่อยให้กระแสไฟไหลได้ I_H มีจำนวนมากพอเพียงตามเกณฑ์แล้วรักษาให้กระแสไฟนั้นประจำคงที่ ต่อไปแต่งให้กำลังดันที่แอโนดเปลี่ยนแปลงไปโดยอาศัยความต้านแบ่งกำลังดัน S



รูป ๓๕ วงจรสำหรับวัดเส้นลักษณะของหลอดอิเล็กตรอน

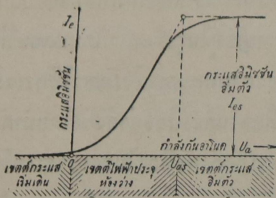
แต่นำผลของกำลังดันที่แอโนดและกระแสไฟอิมิชั่นอันอิมิชั่นนั้นเขียนลงในตารางโคออร์ดิเนต ก็จะได้เส้นโค้งแสดงอาการอิมิชั่น $I_a = f(U_a)$ ดังปรากฏตามรูป ๔๐

ถ้าหามอาการของหลอดนั้นมาทางที่จะอธิบายให้เข้าใจแจ่มแจ้งได้โดยแบ่งเส้นโค้งบอกลักษณะของกระแสไฟอิมิชั่นนั้นออกเป็นสามตอนคือ

- ก. ตอนกระแสไฟทั้งต้นไหล (เขตต์กระแสเริ่มเดิน)
- ข. ตอน กระแสไฟในเขตต์ ไฟฟ้า ประจุ ห้างว่าง คือเขตต์ภายใน Space charge
- ค. ตอนกระแสไฟอิ่มตัว

ในตอนต่างๆ ของกระแสไฟอิมิชั่นที่แบ่งออกเป็นสามตอนนั้น ต่างก็มีกฎแห่งความสัมพันธ์ของตนเป็นตอนๆ ไป ดังเช่นตอนกระแสไฟทั้งต้นไหลนั้นเป็นตอนที่กำลังดันของแอโนดเป็นลบและตอนกระแสไฟฟ้าประจุ

ห้วงว่าง^{๒๕}น้อยระหว่างกำลังดันของอาโนดเป็น O และ U_{as} ตอนกระแสไฟ
อิมิตวนเป็นตอนที่กำลังดันของอาโนดสูงกว่า U_{as} ในตอนหนึ่งๆ ของ



รูป ๔๐ เส้นลักษณะแสดงกระแส
อิมิตวนของหลอดอิเล็กตรอน

หลอดนี้ จะมีลักษณะแตกต่างกันไป
มากบ้าง น้อยบ้าง อย่างไรนัยยอมแล้ว
แต่คุณสมบัติภายในตัวของหลอด แต่
ตอนที่นับว่าเป็นตอนสำคัญที่สุดของ
เส้นโค้งกระแสไฟอิมิตวน^{๒๕} คือ ตอน

กระแสไฟฟ้าประจุ ห้วงว่าง อัน
เป็น ตอนที่นำไปใช้ ใน ทางใช้ การ
ส่วนมาก

๒. การเคลื่อนไหวของอิเล็กตรอนในสุญญากาศ

ทางเดินของกระแสไฟ^{๒๕}ที่เดินผ่านสุญญากาศนั้น ย่อมเดินผ่านไฟฟ้า
ประจุอิสระซึ่งเคลื่อนไหวตัวออกมาจากคาโทดไปยังอาโนดเป็นสื่อให้
จำนวนไฟฟ้าประจุอิสระกำหนดเรียกว่าจำนวนอิเล็กตรอน ซึ่งอิเล็ก
ตรอนตัวหนึ่งมีค่าไฟฟ้าประจุอยู่

$$q = -1,59 \cdot 10^{-19} \text{ คูลอมบ } \dots \dots (15)$$

และเครื่องหมายลบทอຍหน้าควเลขนี้แสดงให้รู้ว่าเป็นไฟฟ้าลบ การ
เคลื่อนไหวของอิเล็กตรอนอันไม่ถูกขัดขวางจะบังเกิดขึ้นได้ก่อกอเมอภายใน
ในห้วงที่อิเล็กตรอนอยู่นั้นไม่มปริมาณของแก๊สอยู่เลย ซึ่งในทันทีก็เขา
ว่าเพราะเหตุนี้^{๒๕}เป็นสุญญากาศอันแท้จริง โดยที่ในทางปฏิบัติ^{๒๕}ไม่
อาจจะทำให้เป็นสุญญากาศได้โดยแท้ แต่ก็นับว่าเป็นที่เพียงพอแล้ว

สัญญาณที่อื่นได้รับเอาปริมาณของแสงออกไปมากพอจนเป็นที่เชื่อว่าการชักขวางต่อการเคลื่อนไหวของอิเล็กตรอนไม่บังเกิดขึ้น อาการเช่นนี้จะพบได้ในเมื่อสัญญาณที่ประมาณ 10^{-6} mm. ของเส้นปรอทแสดงการวัดความดันอากาศซึ่งเป็นค่าอันเทียบเท่ากับกำลังดันของแสง 10^{-9} แอทมอสเฟียร์

สัญญาณที่อื่นวัดได้ตามความสูงของปรอทดังกล่าวนี้ นับว่าเป็นเขตที่พอสำหรับหลอดอิเล็กตรอนทำงานได้โดยปราศจากผลของผลกชกทั้งหลาย แต่บัญญัติให้ถือว่าสัญญาณที่ "ดี"

ในเกณฑ์ที่กำหนด ณ ที่นี้ เป็นอันว่าการชักขวางต่อการเคลื่อนไหวของอิเล็กตรอนเนื่องจากปริมาณของแสงไม่สำแดงผลได้ และจักได้พิจารณาถึงกฎของการเคลื่อนไหวแห่งอิเล็กตรอนในสัญญาณที่ต่อไป คนเราก็คือเชื่อว่าอิเล็กตรอนนั้นกฎเกณฑ์เป็นสัมพัทธ์ อย่างเดียวกันกับวัตถุชาติ แท้ที่จริงอิเล็กตรอนนั้นไม่มีแม่เหล็กของวัตถุชาติ แต่ว่าโดยอาการเคลื่อนไหวของอิเล็กตรอนนั้นบังเกิดมีสนามแม่เหล็กคิดตามชน และมีอาการของความเฉื่อยสำแดงมาด้วย ดังนั้นจึงกำหนดขนาดของแม่เหล็กแห่งอิเล็กตรอนให้มีค่าเป็น m สำหรับการเคลื่อนไหวที่ช้า ๆ หมายความว่าสำหรับความเร็วที่น้อยกว่ำความเร็วของแสงสว่างมากนักจะมีแม่เหล็กของอิเล็กตรอน

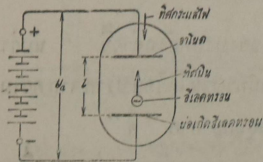
$$m = 8.99 \cdot 10^{-28} \text{ แกรม} \quad \dots \dots \dots (16)$$

ในสนามไฟฟ้าอันมีกำลังแรง H จะมีแรงกระทำต่ออิเล็กตรอนอยู่เป็น

$$P = q \cdot H_e \quad (\text{ยูล/ชม.}) \quad \dots \quad (17)$$

หรือเป็น (ไอน์)^๓

$$P = q \cdot H_e \cdot 10^7 \quad (\text{ไอน์}) \quad \dots \quad (17a)$$



รูป ๔๑ แสดงความเคลื่อนไหวของ
อิเล็กตรอนในสุญญากาศ

อิเล็กตรอนตัวหนึ่ง ที่เคลื่อนไหวกวไป
ระยะทาง l ผ่านไปในสนามไฟฟ้าที่
สม่ำเสมอ กันภายใต้อิทธิพลของ
สนามที่มีกำลังแรง H_e จะได้งาน
ที่อิเล็กตรอนเคลื่อนไหวกวไปในระยะ
ทาง l นี้

$$A = P \cdot l = q \cdot H_e \cdot l \cdot 10^7 \quad (\text{เอิร์ก}) \quad \dots \quad (18)$$

[เมื่อเปรียบดูในรูป ๔๑ เห็นว่าการเผาให้ไส้หลอดร้อนนั้นเป็นของง่าย จึง
ไม่น่าขนกดำ]

ตามหลักเบื้องต้นที่เราได้กำหนดขึ้นไฟฟ้าอันเกิดจากการเคลื่อนไหวกว
ภายในสนามไฟฟ้า

$$H_e \cdot l = U_a \quad \text{โวลต} \quad \dots \quad (19)$$

เมื่อ U_a เป็นกำลังดันไฟฟ้าอันกระทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนไหวกวไปในระยะ
 l ดังนั้นจึงแปลงสมการ (18) ให้เป็น

$$A = q \cdot U_a \cdot 10^7 \quad (\text{เอิร์ก}) \quad \dots \quad (18a)$$

เราสมมติเขาเสียว่า ความเร็วต้นของอิเล็กตรอนเป็นศูนย์และเมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนไหวไปได้ระยะทาง l จะมีความเร็ว v ดังนั้นเอนเนอจี้เคลื่อนไหว ณ ตำแหน่งเป็น

$$A = \frac{1}{2} mv^2 \quad (\text{เอิร์ก}) \quad \dots \quad (20)$$

ซึ่งมีค่าเท่ากับงานที่คำนวณได้จาก (18a) ฉะนั้น

$$\frac{1}{2} mv^2 = q \cdot U_a \cdot 10^7 \quad \text{เอิร์ก} \quad \dots \quad (21)$$

จากสมการข้างบนนี้ จึงหาค่าของความเร็วสุดท้าย v อันเป็นความเร็วของอิเล็กตรอนภายหลังจากตกค้างถึงต้นไฟฟ้ามาเป็น U_a ได้

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot q \cdot U_a \cdot 10^7}{m}} \quad (\text{ซม/ว}) \quad \dots \quad (22)$$

นำค่าของ q และ m จาก (5) และ (6) ได้แทนลงจะได้

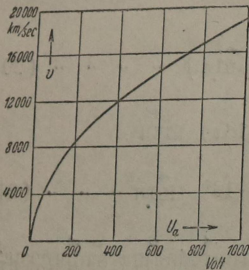
$$v = \sqrt{\frac{2(1.59 \cdot 10^{-19}) U_a \cdot 10^7}{8.99 \cdot 10^{-23}}}$$

$$v = 595 \cdot 10^5 \cdot \sqrt{U_a} \quad \text{ซม/ว} \quad \dots \quad (22a)$$

หรือ

$$v = 595 \sqrt{U_a} \quad \text{กม/ว} \quad \dots \quad (22b)$$

กำหนดค่าของกำลังดัน U_a ต่าง ๆ ลงแล้วคำนวณหาค่าของความเร็วแห่งอิเล็กตรอนจากสมการข้างบนนี้ ได้ผลเท่าใดนำค่าที่คำนวณได้มาเขียน



รูป ๔๒ แสดงความเร็วของอิเล็กตรอน v อันสัมพันธ์กับกำลังดันของ U_a

ลงในตารางโคออร์ดิเนต จะได้รับผลของเส้นโค้งแสดงดังรูป ๒๔ และความเร็วของอิเล็กตรอนนี้อาจกำหนดด้วยกำลังดันไฟฟ้าที่ทำให้เดินผ่านไปได้ดังตัวอย่าง เช่น อิเล็กตรอนตัวหนึ่งมีความเร็ว 100 โวลต์ ซึ่งหมายความว่า อิเล็กตรอนตัวนั้นมีความเร็ว 5950 หรือขอคิดเป็นเลขเต็มเสียว่า 6000 กม/ว

ตามนี้เห็นว่า ความเร็วสุดท้ายของอิเล็กตรอนต้องการระยะเวลาสั้นมาก แต่อย่างไรก็ดีนับว่าต้องการเวลายาวขึ้นเองที่จะให้วิ่งออกจากคาโทดไปสู่แอโนด ถ้าระยะทางที่อิเล็กตรอนจะต้องวิ่งผ่านไปเป็นระยะทาง l (เปรียบเทียบกับรูป ๔๓) และมีความเร็วต้นเป็นศูนย์ โดยให้ความเร็วสุดท้ายเมื่อไปถึงแอโนดเป็น v ดังนั้นเมื่อถือว่าสนามไฟฟ้าที่อิเล็กตรอนจะต้องวิ่งผ่านไปในสนามสม่ำเสมอ คงจะได้ระยะเวลาที่อิเล็กตรอนวิ่งผ่านระยะทาง l

$$t = \frac{2 \cdot l}{v}$$

$$(๑) \dots \dots (23)$$

เวลา t นั้นขอกำหนดให้เรียกว่า “ระยะเวลาวิ่ง” ในปริเวณที่สูงๆ ระยะเวลาวิ่งนั้นนับว่าเป็นองค์สำคัญของค่านึงที่จกต้องคำนึงถึงด้วยเสมอไป ดังตัวอย่างระยะ $l = 0,5$ ซม. และกำลังดันไฟฟ้าที่อาโนด $U_a = 100$ V. ซึ่งจะได้ความเร็วของอิเล็กตรอนด้วยกำลังดันนี้ 6000 กม/ว คือ $6 \cdot 10^8$ ซม/ว ระยะเวลาวิ่งของอิเล็กตรอน

$$t = \frac{2 \cdot 0,5}{6 \cdot 10^8} = 0,167 \cdot 10^{-8} \quad (๑)$$

สำหรับปริเวณที่ 10^3 ไซเกิต คือคลื่นขนาดยาว ๓ เมตรนั้นระยะ ระยะเวลาวิ่ง $\frac{1}{6}$ ของระยะเวลาบรรจบที่เรียก “Period” จำนวนระยะ ระยะเวลาวิ่งของอิเล็กตรอนนั้น จะทำให้เกิดความต่างเฟสเป็น $\frac{360}{6}$ คือ 60°

๓) อิเล็กตรอนเคลื่อนตัวออกจากเส้นลวดที่ถูกเผาถูโกโซน

อาการทางเมคคานิคส์แห่งการเคลื่อนตัวของอิเล็กตรอนออกจาก โลหะที่ถูกเผาถูโกโซนนี้ยังไม่มีวิธีแจ่มแจ้งอันใดที่จะกล่าวโดยละเอียดนัก เพราะอาการอนันตงเกิดขึ้นจากแนวหรือชุดของเลข Hypothesen อันเป็นหลักทางไซค (Probability) ของท่าน O.W. Richardson วิชาการด้านนี้ได้คงสูตรสำหรับการอิมพัลของกระแสไฟอิมพัลชันจากเส้นลวดที่ถูกเผาถูโกโซนโดยอาศัยหลักของแมกซ์เวลล์ อันว่าด้วยการเฉลี่ยแบ่งความเร็วขึ้นในปี ๑๙๐๓ เป็นครั้งแรก และสูตรอันนี้ต่อมาในปี ๑๙๑๔ ท่านได้แก้ไขโดยอาศัยหลักแห่งวิชาเธอโมไดนามิคส์เข้าช่วย อาการเปรียบเทียบในเชิงเมคคานิคส์แห่งการเคลื่อนไหวของอิเล็กตรอนในโลหะกับการเคลื่อนตัวของอิเล็กตรอนออกจากโลหะนี้ จะเป็นแนวทางให้เข้า

ใจอาการมีขึ้น และยังจำกัดอาการของอิเล็กตรอนตั้งวานให้รู้ ถึงคุณ
สมบัติอีกด้วย

ก) การเคลื่อนไหวยของอิเล็กตรอนในโลหะ

ในระหว่างปรมาณของโลหะมีอิเล็กตรอนอิสระอยู่เป็นจำนวน
มากมาย ซึ่งมีลักษณะคล้ายคลึงกับปรมาณของแก๊สที่ดำรงอาการเคลื่อน
ไหวยุ่ตลอดเวลา บรรดาอิเล็กตรอนเหล่านี้มีเอนเนอียเคลื่อนไหวยตาม
ความเร็วแห่งการเคลื่อนไหวย ซึ่งแสดงออกเป็นความร้อนของโลหะ
ตามกฎของเชอโมไดนามิกซ์ เอนเนอียเคลื่อนไหวยเฉลี่ยปานกลางของ
อิเล็กตรอนหนึ่งตัว $\frac{1}{2} m \cdot v_m^2$ นี้ แด้คงตัวเป็นงานของความร้อน ซึ่ง
เราเขียนแทนด้วย $k \cdot T$ คือ

$$\frac{1}{2} m v_m^2 = k \cdot T \quad \text{เอิร์ก} \quad \dots \dots \dots (24)$$

ซึ่ง m เป็นแมสของอิเล็กตรอน

v_m เป็นความเร็วเฉลี่ยปานกลางของอิเล็กตรอน ซม/ว

T เป็นอาการร้อนแอบโซลูตของค่าโทคเป็นดักรี เคนวิน
K (Grad Kelvin) และ $k = 1,371 \cdot 10^{-16}$ เอิร์ก/ K° [ตัว
ประจำของแก๊ส Boltzmasche Gaskonstant]

จากความสัมพันธ์ของสมการข้างบนนี้ เมื่อกำหนดอาการร้อน
ตามชนิดโลหะหรืออาการร้อนของค่าโทคให้แด้ว ก็ย่อมจะหาความเร็ว
เฉลี่ยปานกลางของอิเล็กตรอนจากโลหะชนิดนั้นได้

$$v_m = \sqrt{\frac{2 \cdot k \cdot T}{m}} \quad (\text{ซม/ว}) \quad \dots \dots (25)$$

หรือในเมื่อนำค่าสำหรับ k และ m ได้ลงในสมการนี้จะได้

$$v_m = 5,52 \cdot 10^5 \sqrt{T} \quad \text{ชม/ว} \quad \dots \quad (25a)$$

เอนเนอยเคเลตอนไหวของอิเล็กตรอนทำให้มันกำลังสามารถชนคัสกับกำลังดันไฟฟ้าเรมตัน ฉะนั้นจึงอาจกำหนดเขาเป็น E.M.F. ได้ โดยที่ความเร็วมันแสดงคล้ายกับ E. M. F. ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอันสามารถทำงานทางไฟฟ้าได้ เราจึงให้ตัวกำหนดความเร็วเฉลี่ยปานกลางของอิเล็กตรอนอนุโตมตาม E.M.F. ด้วย E_m ดังนั้นงานซึ่งอิเล็กตรอนตัวหนึ่งอาจสามารถทำได้จึงเป็น $E_m \cdot q$ (ยด) ในเมื่อ q เป็นไฟฟ้าประจุของอิเล็กตรอน (เปรียบเทียบกับ (5)) เมื่อเราก็คิดเขาว่างานทางไฟฟ้าเท่ากับงานทางความร้อน $k \cdot T$ แล้วก็จะได้

$$E_m \cdot q \cdot 10^7 = k \cdot T \quad (\text{เอิร์ค}) \quad \dots \quad (26)$$

คือหมายความว่างานทางไฟฟ้าต้องเท่ากับงานทางความร้อน จากสมการข้างต้นนี้ทำให้ค่าของ E.M.F. E_m ได้ ซึ่งฉันทันบัญญัติให้เรียกว่า “ กำลังดันอาการร้อน ” (Temperaturspannung)

$$E_m = \frac{k \cdot T}{q \cdot 10^7} \quad \text{โวลต} \quad \dots \quad (27)$$

หรือเมื่อได้ค่าของ k และ q ลงจะได้

$$E_m = \frac{1,371 \cdot 10^{-16}}{1,59 \cdot 10^{-19}} \cdot \frac{T}{10^7}$$

$$E_m = \frac{T}{11600}$$

โวลต์ ... (27a)

จากสมการที่เดวิดมาอันจากค่าได้ว่า สำหรับอาการร็อนของ
คาโทดที่กำหนดให้ T นุ่มความเร็วเฉลี่ยบนกต่าง v_m กับกำลังตัน
อาการร็อน E_m อยู่ในความเป็นเจ้าของ ๆ ตน เมื่อต่อสมการ (25a)
นเข้ากับ (27a) แล้ว จะได้ความเร็วเฉลี่ยปานกต่างของอิเล็กทรอนเป็น

$$v_m = 5,52 \cdot 10^5 \sqrt{T}$$

$$v_m = 5,52 \cdot 10^5 \sqrt{E_m \cdot 11600}$$

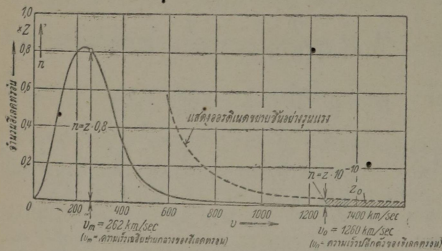
$$v_m = 595 \cdot 10^5 \sqrt{E_m} \text{ ซม./ว} \dots \dots (28)$$

เมื่ออาศัยความสัมพันธ์กันของเดวิดกัน. ซึ่งเหมือนกันกับ (8a)
ทุกประการแล้ว อาการร็อนในหัวของอิเล็กทรอนในโลหะก็จะเป็นไป
ตามกฎท่านของเดวิดกันกับในสุญญากาศ.

ข) การแจกเฉลี่ยความเร็วของอิเล็กทรอน

เราได้จำกัดความหมายแห่งความเร็วเฉลี่ยปานกต่างของอิเล็กทรอน-
มาแล้ว ตามที่ยอมให้สมมติเอาไว้ว่า ไม่มีประโยชน์อันใดที่บรรดาอิเล็ก-
ทรอนทั้งหลายจะมีความเร็วอันน้อยตามหลักแห่งโชคทางเดซ (Probabi-
lity) นั้น ปรากฏว่าอิเล็กทรอนซึ่งต่าง ก็มีความเร็วตามทักคินกเขา
คือมีความเร็วอยู่ในระหว่าง ศูนย์กับ ความเร็วที่มีค่าสูงมาก ๆ เราจึงได้
พิจารณาต่อไปโดยอาศัยเปรียบเทียบกับอิเล็กทรอนของแก๊สอีก อิเล็ก

ทรอนน้อยในระหว่างประมาณของแกด อินเป็นอิเล็กทรอนที่เคลื่อนไหว
อยู่โดยอิสระ เราสามารถใช้หลักสำหรับการแจกแจงความเร็วของ
แมกซ์เวลได้ ในรูป ๔๓ แสดงให้เห็นกฎสำหรับใช้เพื่อแสดงความเร็ว
อิเล็กทรอนของคาโทดที่เป็นแร่ดีบุก ออโรเรต n ของเส้นโค้งนี้
แสดงจำนวนของอิเล็กทรอนซึ่งมีความเร็วอยู่ในระหว่าง v และ $v + dv$
กับทั้งอยู่ในบริเวณ v Z เป็นจำนวนของอิเล็กทรอนทั้งหมดที่มีในคา
โทดตามรูป ๔๓ เป็นตัวอย่าง $n = 0,8 \cdot Z$ คือ 80% ของอิเล็กทรอนทั้ง
หมดยังมีความเร็วต่ำกว่า $v_m = 262$ กม/ว ส่วนอิเล็กทรอน



รูป ๔๓ แสดงการแจกจ่ายความเร็วของอิเล็กตรอน
ในคาโทดที่เป็นแร่ดีบุก

มากก็มีจำนวนน้อยเช่นเดียวกัน ดังตัวอย่างที่เห็นได้ คืออิเล็กทรอน
ที่มีความเร็ว $v = 1260$ กม/ว นั้น มีจำนวนเพียง $n = Z \cdot 10^{-10}$ ตัว
ซึ่งเป็นจำนวนเพียง $10^{-8}\%$ ของอิเล็กทรอนทั้งหมด จากเส้นโค้งแสดง
การแจกแจงความเร็วของอิเล็กตรอนตามรูป ๔๓ ทำให้รู้ได้ว่าบรรดา

ที่มีความเร็ว
ต่ำมากนั้นแต่
เพียงจำนวน
น้อย และทำ
นองเดียวกัน
อิเล็กทรอนที่มี
ความเร็วสูง

ความเร็วของอิเล็กตรอนตัวหนึ่ง ๆ จัดหมู่อยู่รอบ ๆ ความเร็วเฉลี่ย
ปานกลาง v_m สำหรับหมู่^๑อิเล็กตรอน^๒ที่^๓วางอยู่^๔ในพวกที่^๕เป็นตาม^๖สัมภาระ^๗
(25a) อันมี^๘อาการ^๙ร้อนของคาโทด

$$T = 2260^{\circ} K$$

อันเป็นอาการ^๑ร้อนสัมพัทธ์ (Relative Temperature)

$$2260 - 273 = 1987^{\circ} C$$

กำลัง^๑คืนอาการ^๒ร้อนเฉลี่ย^๓ปานกลาง^๔สำหรับ $v_m = 262$ กม/ว

และ $T = 2260^{\circ} K$ ตาม^๑สัมภาระ^๒ (27a)

$$E_m = \frac{T}{11600} \quad \text{โวลต.}$$

$$E_m = \frac{2260}{11600} = 0.195 \quad \text{โวลต.}$$

จาก^๑นี้เห็นได้^๒ว่า บรรดา^๓อิเล็กตรอน^๔ทั้งหลาย^๕ที่^๖มีความ^๗เร็ว^๘เฉลี่ย^๙
ปานกลาง v_m ด้วย^๑กำลัง^๒คืน^๓ไฟฟ้า E_m มา^๔จำ^๕แต่^๖งให้^๗เริ่ม^๘ไหล^๙เป็น^{๑๐}กระแส^{๑๑}
ไฟ^{๑๒}ได้ เมื่อ^{๑๓}เกิด^{๑๔}การ^{๑๕}เปลี่ยน^{๑๖}แปลง^{๑๗}อาการ^{๑๘}ร้อน^{๑๙}ของ^{๒๐}คาโทด^{๒๑} T ขึ้น^{๒๒} ดัง^{๒๓}ใน^{๒๔}
สัมภาระ^{๒๕} (25a) แด^{๒๖}งมา^{๒๗}แล้ว ก็^{๒๘}จะ^{๒๙}ทำ^{๓๐}ให้^{๓๑}ความ^{๓๒}เร็ว^{๓๓}เฉลี่ย^{๓๔}ปานกลาง^{๓๕}ของ^{๓๖}
อิเล็กตรอน^{๓๗}เปลี่ยน^{๓๘}ตาม^{๓๙} และ^{๔๐}ผล^{๔๑}อัน^{๔๒}นี้^{๔๓}ทำ^{๔๔}ให้^{๔๕}จำนวน^{๔๖}สูง^{๔๗}สุด^{๔๘}ของ^{๔๙}รูป^{๕๐} ๔๓
เปลี่ยน^{๕๑}สัมพัทธ์^{๕๒}ตาม^{๕๓}ไป^{๕๔}ด้วย^{๕๕} คือ^{๕๖}จุด^{๕๗}สูง^{๕๘}สุด^{๕๙}ของ^{๖๐}เส้น^{๖๑}โค้ง^{๖๒}รูป^{๖๓} ๔๓ จะ^{๖๔}เกิด^{๖๕}ขึ้น^{๖๖}
ด้วย^{๖๗}ย้าย^{๖๘}ไป^{๖๙}ทาง^{๗๐}ขวา^{๗๑}ใน^{๗๒}เมื่อ^{๗๓}อาการ^{๗๔}ร้อน^{๗๕}ของ^{๗๖}คาโทด^{๗๗} T ทั่ว^{๗๘}สูง^{๗๙}ขึ้น^{๘๐} และ^{๘๑}โดย^{๘๒}
อาการ^{๘๓}ร้อน^{๘๔}ของ^{๘๕}คาโทด^{๘๖}ลด^{๘๗}คั่น^{๘๘}อย^{๘๙}ลง^{๙๐} จุด^{๙๑}สูง^{๙๒}สุด^{๙๓}ของ^{๙๔}เส้น^{๙๕}โค้ง^{๙๖}จะ^{๙๗}เปลี่ยน^{๙๘}ที่^{๙๙}ไป^{๑๐๐}
ทาง^{๑๐๑}ซ้าย

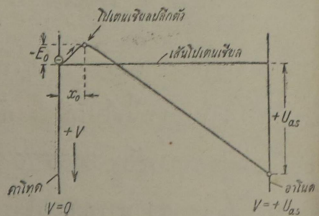
ค) งานปลักตัวของอิเล็กตรอน

เมื่อบรรดาอิเล็กตรอนทั้งหลายจะต้องปลักตัวหนีออกจากผิวหน้าของคาโทด จำกัต้องมีความเร็วต้นสูงมากจนมันเอาชนะแรงดึงดูดเพียงที่จะให้ ะณะต่อแรงยึดเหนี่ยวแห่งบรรดาปรมาณของคาโทด หมายความว่าจะต้องสามารถทำงานปลักตัวออกได้ จากตารางที่แสดงอยู่ในหน้า ๑๒๒ ปรากฏว่างานปลักตัวของ อิเล็กตรอน สำหรับแร่วูลแฟรมนั้น

$E_0 = 4.53$ โวลต. อันหมายความว่า อิเล็กตรอนตัวหนึ่งที่สามารถทำงานอันนี้ได้โดยจำกัต้องมีความเร็วต้นอย่างน้อยที่สุด $v_0 = 1260$ กม/ว (ด้วยการสมมติว่า งานปลักตัวของอิเล็กตรอน $E_0 \cdot q$ ยึดโดยที่ q เป็นไฟฟ้าประจุของอิเล็กตรอนอันมีค่าประจำกำหนดอยู่ จึงเห็นว่าการกำหนดงานปลักตัวของอิเล็กตรอนด้วย E_0 นั้นเป็นทีเพียงพอ) คราวหน้าต้องการจะทำให้ความเร็วเฉลี่ยปานกลาง ของอิเล็กตรอนมีค่าเท่ากับ v_0

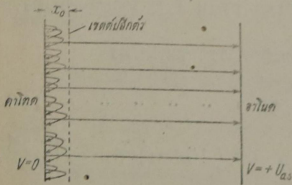
จำเป็นจำกัต้องท้ออาการร้อนของคาโทดให้สูงขึ้นเป็น $52600^\circ K$ แต่เป็นที่เข้าใจได้ว่าไม่อาจเป็นไปได้ ทั้งนี้เนื่องจากแร่วูลแฟรมนั้นจะระเหยเสียตั้งแต่เมื่ออาการร้อน $3655^\circ K$ และยิ่งกว่านั้นอาการร้อนสูงมาก ๆ ดังกล่าวนั้นก็ไม้อาจสามารถจะทำได้ เพราะคาโทดที่ทำด้วยวูลแฟรมเมื่อถึงถึงอายุความทนทานที่จะใช้การกันแล้ว ก็จะใช้งานด้วยอาการร้อนอย่างสูงเพียง $2260^\circ K$ เท่านั้น ฉะนั้นตามสมการ (25 a) จึงได้ความเร็วเฉลี่ยปานกลางเป็น 262 กม/ว และตาม (27 a) กำหนดถึงดินอาการ

ร้อน 0,195 โวลต์ สำหรับการอมชมนั้นของอิเล็กตรอนนั้นปรากฏผลว่า
 ได้รับจำนวนเปอร์เซ็นต์ของอิเล็กตรอนน้อย ในเมื่อทำให้ความเร็วอัน
 เป็นความเร็วแห่งการปลุกตัวของอิเล็กตรอน สูงขึ้นเกินกว่า $v_0 =$
 1260 กม./ว ตามเส้นโค้งที่ปรากฏในรูป ๔๓ อันสำหรับแสดงเป็น
 ตัวอย่างนั้นจะมีอิเล็กตรอนแยกตัวออกด้วยความเร็วอันเพียง $Z \cdot 10^{-10}$
 ซึ่งแสดงรูปด้วยเส้นขีด ๆ ให้เห็นเนื้อที่ไว้แล้ว เพื่อจะได้เห็นอาการ
 อมชมนั้นได้แจ่มแจ้งยิ่งขึ้น จึงควรพิจารณาตามอาการของรูป ๔๔ และ
 รูป ๔๕ ณ ที่นี้เราเพิ่งถึงคาโทดที่เป็นแผ่นแบนและอาโนดก็เป็นแผ่น
 แบนเช่นเดียวกัน ในระยะห่างจากคาโทด $x_0 = 10^{-1}$ ซม. เราคิดเอา
 ว่าเป็นขอบเขตแห่งการปลุกตัวของอิเล็กตรอน กับเป็นขอบเขตของ
 ไปเคนเซียมอันจะต้องถูกอิเล็กตรอนวิ่งผ่านพ้นไป ในเมื่ออิเล็กตรอนจะ
 ต้องออกไปจากคาโทด ในระหว่างคาโทดและอาโนดนั้นเราต้องกำหนด
 ศักย์อาโนด U_{as} เข้าจนบรรดา
 อิเล็กตรอนทั้งหลายวิ่งผ่านพ้นขอบ
 เขตแห่งการปลุกตัวไปสู่อาโนด
 เราจะได้ลักษณะการเดินของเส้น
 โค้งไปเคนเซียมภายในหลอดดัง
 ในรูป ๔๔ ค่าของไปเคนเซียม
 ที่เป็นบวก ณ ที่นี้เขียนไว้ข้างเส้น
 ไปเคนเซียมด้วย เมื่อคิดว่าอิเล็ก
 ตรอนเป็นประจุถูกกดแล้ว ถูก



รูป ๔๔ แสดงการแจกจ่ายไปเคนเซียม
 ในหลอดอิเล็กตรอนในเมื่อกระแสไฟอ้อมตัว
 โหล (ไปเคนเซียมบวกเชื่อมลงเบื้องล่าง)

ก่อกวนก็จะถ่วงไปสู่อำนาจโน้ต หมายความว่า จะต้องมีความเหนี่ยวนำเหนี่ยวนำ
พอเพียงที่จะชนะต่อความสูงของ E . ด้วย ในรูป ๔๔ แสดงให้เห็นวิถีบิน
ของอิเล็กตรอน บรรดาอิเล็กตรอนทั้งหลายที่เหนี่ยวนำเหนี่ยวนำ
ของตัวไม่พอเพียงที่จะข้ามขอบเขตแห่งการปลุกตัวและขอบเขตของ
โปเตนเชียลไปได้ ก็วกกลับคืนไปสู่อำนาจโน้ต ส่วนบรรดาอิเล็กตรอน
ที่โปเตนเชียลสูงพอข้าม ขอบเขตของ โปเตนเชียลไปได้ก็บินเข้าไปหา
อำนาจโน้ต การวนเวียนของการเพิ่มจำนวนอิเล็กตรอนที่ออกพ้นไปจากอำนาจโน้ต



รูป ๔๔ แสดงวิถีบินของอิเล็กตรอน
ในเมื่อกระแสไฟฟ้าไหล

ให้สูงขึ้นแล้ว ก็อาจจะทำได้สอง
ประการ คือ โดยที่อำนาจโน้ตที่
คาโทดให้สูงขึ้น ซึ่งเป็นผลทำให้
ความเร็วของอิเล็กตรอนที่ตาม
หรือโดยการลดทอนให้ งานการ
ปลุกตัวของ อิเล็กตรอน น้อยลง
โดยเหตุที่ในประการแรกนั้นอายุ

ความทนทานของคาโทดเป็นเครื่องจำกัดอยู่ จึงลดทอนงานการปลุกตัว
ลงโดยใช้ ออกไซด์ หุ้มคาโทดและทั่วความ อ่อน ตัวตามของ อิเล็กตรอน
โดยลดทอนการรบกวนที่ใช้งานในการเผาคาโทดให้ร้อนนั้นน้อยลง ซึ่งใน
ขณะเดียวกันทำให้อายุความทนทานของคาโทดทวน

ง) กระแสไฟฟ้าอิ่มตัว (I_{es})

ตามที่กล่าวมาแฉ่น ปรากฏว่าอิเล็กตรอนที่จะออกไปพ้นจาก
คาโทดได้ก็เฉพาะแต่ตัวที่มีความเร็วสูงกว่าความเร็วการ ปลุกตัว v_0 น

เท่านั้น ในเส้นโค้งการแจกแจงความเร็วของอิเล็กตรอนรูป ๔๓ ก็ได้แสดงเนื้อที่อันขีดเส้นตัดประกอบอยู่ขึ้นเป็นส่วนของแทนจำนวนอิเล็กตรอน Z_0 ตามหลักของวิชาริดจ์ตัน (Richardson) นั้น คาโทดจะจ่ายอิเล็กตรอนออกจากผิวหน้าของตนเป็นจำนวน

$$Z_0 = 4090 \cdot v_m^4 \cdot e^{-(v_0/v_m)^2} \text{ จำนวนอิเล็กตรอน/ซม}^2 \text{ ต่อวินาที} \quad (29)$$

ถ้าคูณจำนวนอิเล็กตรอนที่ผ่านเข้ากับไฟฟ้าประจุของอิเล็กตรอน จะได้ไฟฟ้าประจุที่เดินผ่านเนื้อที่ผิวของคาโทดใน 1 ตารางเซนติเมตรต่อวินาที คือเป็นกระแสไฟฟ้ามีขนาดเท่ากับค่าของตารางเซนติเมตร

$$i_{es} = q \cdot Z_0 \text{ (A/ซม}^2) \quad \dots \dots \dots (30)$$

โดยแทนค่าของ Z_0 จาก (29) และ q จาก (15) จะได้สมการใหม่เป็น

$$i_{es} = 4090 \cdot v_m^4 \cdot e^{-(v_0/v_m)^2} \cdot 1,59 \cdot 10^{-9} \text{ (A/ซม}^2) \quad \dots (30a)$$

หรือ

$$i_{es} = 65 \cdot 10^{-17} \cdot v_m^4 \cdot e^{-(v_0/v_m)^2} \text{ (A/ซม}^2) \quad \dots \dots (30b)$$

แทนค่าของความเร็วดตาม (25a) หากการร่อนที่ประกอบอยู่จะได้

$$v_m = 5,52 \cdot 10^5 \sqrt{T}$$

$$v_m^2 = (5,52 \cdot 10^5)^2 T \text{ และ } v_0^2 = (5,52 \cdot 10^5)^2 T_0$$

ดังนั้น

$$i_{es} = 65 \cdot 10^{-17} (5,52 \cdot 10^5)^4 \cdot T^2 \cdot e^{-\frac{T_0}{T}} \dots \text{ (A/ซม}^2) \quad (31)$$

ถ้าเนื้อผิวต้านแรงผลของคาโทดเป็น F_K ก็จะได้กระแสไฟฟ้าทั้งหมดที่เดินผ่านตลอดผิวของเนื้อผิวของคาโทด อันเรียกว่ากระแสฟิอิมชันอันคือ I_{cs} เป็น

$$I_{cs} = 60,2 \cdot F_K \cdot T^2 \cdot e^{-\frac{T_0}{T}} \quad (A) \quad (31a)$$

สมการอันนี้เป็นทฤษฎีที่แพร่หลาย เรียกกันว่าสูตรริชาร์ดสัน (Richardson formula)

ไฟฟ้าประจุที่บังเกิดขึ้นตามสูตรอันนี้ จะบังเกิดขึ้นมาจากคาโทดทุก ๆ วินาที และทำให้เกิดมีไฟฟ้าประจุบวกด้วยขนาดเท่ากันขึ้น จากการเป็นไฟฟ้าประจุบวกนั่นเองบรรดาอิเล็กตรอนที่ได้ออกมาจากคาโทดนั้น จึงถูกดึงดูดกลับเข้าไปหาคาโทดอีก ถ้าเมื่ออิเล็กตรอนนั้นไม่ได้ถูกดึงดูดด้วยกำลังดึงดูดที่หาโนดจนแรงพอ (กำลังดันอิมตัว U_{as}) ดันเขาเข้าหาตัวให้หมดสิ้น โดยที่กระแสฟิอิมตัวอันได้จากสมการ (31a) นั้นไหลเข้าไปสู่อานโนดทั้งหมดได้ ก็แค่นั้นเพราะเมื่อกำลังดันที่หาโนดสูงกว่ากำลังดันอิมตัว U_{as} เท่านั้น ในตารางต่อไปข้างหน้านั้นแสดงค่าของตัวประจําอิมชัน T_0 และค่าต่าง ๆ ตาม (27a) และ (25a) อันเกี่ยวข้องกับกำลังดันปลักตัวและความเร็วปลักตัวสำหรับวัตถุต่าง ๆ ต้องดํานะหนักเปรียบเทียบกันให้เห็น

ตัวประจำอิมิซันของวัสดุต่างๆ

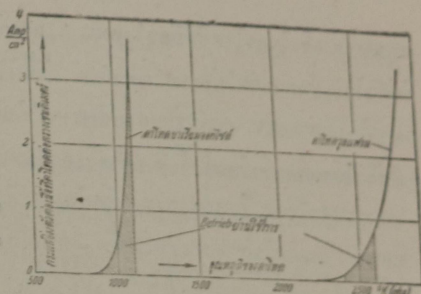
วัสดุ	อาการร้อน ตาย °K	งานปลั๊กตัวแยกออก หมายด้วยอักษรต่าง ๆ			หมายเหตุ
		To K	Eo โวลต์	Vo กม/ว	
วุดแฟรม	3655	52600	4,53	1260	เป็นถวดแข็ง
คันทาด	3300	47600	4,1	1200	
ทอเรียม	2623	39400	3,4	1100	
วุดแฟรม เคลือบด้วย ทอเรียม		30200	3,2	1060	ส่วนมากเป็นใน ลักษณะออก ไซดเขามาเคลือบ ห่อเข้ากับถวด วุดแฟรม
วุดแฟรม ที่ประกอบ กับบาเรียมให้โวลน		18600	1,6	750	
วุดแฟรม ที่ประกอบ กับแคลเซียมให้โวลน		25600	2,2	880	

รูป ๔๖ เปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าอิมิตีวของ คาโทดที่ทำด้วยบาเรียม
ออกไซด์กับคาโทดที่ทำด้วยวุดแฟรม อันดั้มพรีชัน อยู่กับอาการร้อน
ของคาโทดตามสมการ (31a) จากตารางที่แสดงค่าต่าง ๆ นั้นทำให้มอง
เห็นได้ว่า งานการปลั๊กตัวของอิเล็กทรอนนั้น ถูกลดทอนให้น้อย
ลงได้มากมายอย่างไร ในเมื่อทำให้คาโทดของหลอดอิเล็กทรอน
มีคุณสมบัติโวลน โดยการใส่แคลเซียมออกไซด์ หรือบาเรียมออกไซด์

รูป ๔๖

เปรียบเทียบกระแสไฟ
อิมพัลส์ของหลอดที่ใช้คา
โทด เป็นบาเรียมออก
ไซด์ และที่ใช้วัสดุแฟรม
อันสัมพันธ์ขึ้นกับอุณห
ภูมิของคาโทดตามสมการ

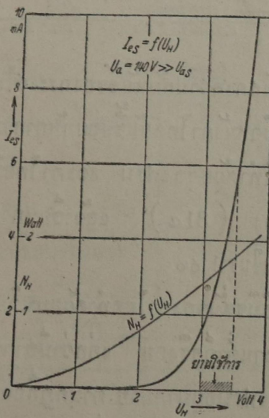
(31a)



เพื่อให้เปรียบเทียบกันเห็นได้ง่ายจึงได้แสดงความสัมพันธ์ของกระแสไฟ
อิมพัลส์ของหลอด ๓ ตารางเซนติเมตรของผิวหน้าคาโทดอันขึ้นอยู่กับอากร
ร้อนของ คาโทด สำหรับคาโทดที่ทำด้วยวัสดุแฟรม และคาโทดที่
ทำด้วยบาเรียมตามแนวทางคำนวณของ (31a) แล้วเขียนภาพ
เส้นโค้งจากผลการคำนวณให้เห็นตามในรูป ๔๖

จากรูปนี้มองเห็นได้ว่า การอิมพัลส์ของคาโทดทำด้วยบาเรียม
ออกไซด์นั้น แม้ว่าจะมีอากรร้อนใช้งานต่ำก็จริงอยู่ แต่ความอากร
อิมพัลส์สูงกว่าของคาโทดอันทำด้วยวัสดุแฟรมอยู่มากมาย ตามกฎที่กล่าว
ว่าคาโทดที่ใช้ออกไซด์เคลือบอยู่นั้น มีคุณสมบัติในการที่ยอมปล่อยให้
อิเล็กตรอนปลุกควั่นออกไปมากจนกระทั่งกระแสอิมพัลส์อิมพัลส์ของคา
โทดเนื่องจากความร้อนที่แผ่ออกอยู่ในหลอดนั้นไม่อาจจะใช้เป็นประโยชน์
ได้หมดสิ้น เขตคณณควณคามเกณฑ์แล้วจะเห็นได้แน่ชัดแก่ในคาโทดที่
เป็นวัสดุแฟรมเท่านั้น คือหมายความว่า ฉะนั้นกระแสไฟอิมพัลส์อิมพัลส์ได้
ขึ้นอยู่กับการถ่วงกัน U_a โดยแท้จริง ส่วนในคาโทดที่ทำด้วยทอเบียม และ

เฉพาะอย่างยิ่งในคาโทดที่มีออกไซด์นี้ การกำหนดค่าของกระแสไฟ
อิมิต์วโดยแผ่นนอย่อมไม่สามารถจะทำได้ ทั้งนี้โดยที่กระแสไฟในเซกต์
อิมิต์วได้รับอาการจากความร้อนส่งกลับจากอาโนดมายังคาโทดอีก อัน
ทำให้คาโทดท่วความร้อนจนถึงทำให้กระแสไฟอิมิต์วที่ตามส่วนชนด้วย
สำหรับการวินิจฉัยถึงคุณสมบัติในการยอมปล่อยอิเล็กตรอนออก



รูป ๔๗ กระแสไฟอิมิต์วของหลอดที่
ใช้คาโทดทำด้วยวัสดุผสม

แล้วคำนวณหาค่าของเกณฑ์วัดความร้อน $H = I_{cs}/N_H$ เกณฑ์วัดความ
ร้อนนี้ใช้แทนองเดียวกันกับงานออกแรงที่กำหนดเป็นเกณฑ์ (Specified
load) ของหลอดไฟฟ้าแสงสว่าง คือเป็นเกณฑ์สำหรับวัดอายุความ
ทนทานของคาโทด สำหรับคาโทดที่ทำด้วยวัสดุผสมนี้ หน่วยเกณฑ์

จากตัวของคาโทดที่ตามทางปฏิบัติใช้
อยู่นั้น ถือเอาเกณฑ์สำหรับวัดความ
ร้อน (Heizmass) เป็นหลัก เกณฑ์
วัดความร้อน นี้เห็นเข้าใจกันว่าเป็น
กระแสไฟอิมิต์ว I_{cs} ซึ่งทำ
ให้เกณงานอันทำให้ร้อนขึ้นด้วยกำลัง
๑ วัตต์ สำหรับการทดสอบหาเกณฑ์
สำหรับวัดความร้อนต้องวัดกระแสไฟ
อิมิต์ว I_{cs} และกระแสไฟที่เสาคาโทด
 I_H อันสัมพันธ์กันอยู่กับกำลังวัตต์ที่ใช้
เสาคาโทด U_H (เปรียบเทียบรูป ๔๖)

วัดความร้อนที่นับว่าใช้การได้จะอยู่ระหว่าง 2 กับ 4 mA/Watt ส่วน
คาโทดที่เคลือบท่อเริ่มระหว่าง 15 กับ 30 mA/Watt และสำหรับ
คาโทดที่ทำด้วยบาเรียมออกไซด์ระหว่าง 40 และ 100 mA/Watt
บรรดาค่าอันหลังสำหรับคาโทดชนิดต่าง ๆ นั้นเป็นแต่เพียงเขตชั้นใกล้
เคียงเท่านั้น โดยเหตุที่กระแสไฟอันตัวของหลอดที่ใช้คาโทดประกอบ
ด้วยออกไซด์นั้นทำการวัดได้ยาก ซึ่งตามธรรมเนียมวัดได้ก็แค่ด้วยออกซ์ซิ
โดกราฟเท่านั้น.

๔. การเผาคาโทดให้ร้อน

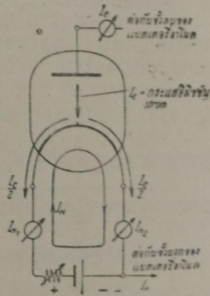
ในการเผาคาโทดให้ร้อนนี้ ทางปฏิบัติการขอถือเอาไฟฟ้าเป็นการ
เด็ดขาด และการเผาคาโทดให้ร้อนด้วยกำลังของกระแสไฟฟ้านี้ จำแนก
ออกเป็นสองชนิด คือ

ก. การเผาให้ร้อนโดยตรง

ข. การเผาให้ร้อนโดยทางอ้อม

ก. การเผาให้ร้อนโดยตรง

การเผาคาโทดให้ร้อนโดยวิธีนี้ คาโทด
มักประกอบด้วยเส้นลวดทูลเฟรมเส้นเดียว
หรือหลายเส้น ซึ่งโดยอาศัยกระแสไฟฟ้าเดิน
ผ่านทำให้ร้อนลุกเป็นแสง ถ้าใช้กระแสไฟตรง
เป็นเครื่องเผาคาโทดให้ร้อนก็จะได้อัตราส่วน
ของกระแสไฟดังในรูป ๔๘ กระแสไฟที่เดิน
ผ่านทางด้านปลายใต้ที่เป็นบวกจะมีค่าเป็น



รูป ๔๘ แสดงอัตราส่วนของ
กระแสไฟคาโทดที่ถูกเผาโดยตรง

$$I_{H_1} = I_H - \frac{I_e}{2}$$

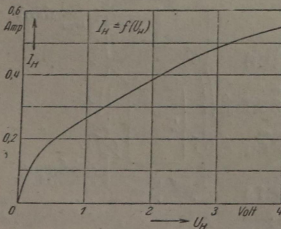
และทางค่านปลายใต้ที่เป็นลบจะได้

$$I_{H_2} = I_H + \frac{I_e}{2}$$

ส่วนกระแสไฟสำหรับเผาคาโทอันต่ำแดงผลโดยแท้จริง I_H นี้ จะได้
จากผลที่วัดของกระแสไฟสองขนาดคือ

$$I_H = \frac{I_{H_1} + I_{H_2}}{2}$$

ความแตกต่างของกระแสไฟทั้งสอง I_{H_1} และ I_{H_2} นี้เป็นค่าขณะหนึ่ง
ซึ่งสำหรับในหลอดที่มีกระแสไฟมีขนาดสูงๆ แล้วนับว่าเป็นสิ่งสำคัญที่จัก
ต้องคำนึงถึงอย่างยิ่ง เพื่อจะหลีกเลี่ยงมิให้หลอดได้รับงานเผาให้ร้อน
จากกระแสไฟเกินสมควร ในทางปฏิบัติการจึงนิยมวัดกระแสไฟเผาได้
ทางปลายข้างลบ ซึ่งในลักษณะทั่วๆ ไปแล้วถือว่าการวัดค่าดังต้นไฟ



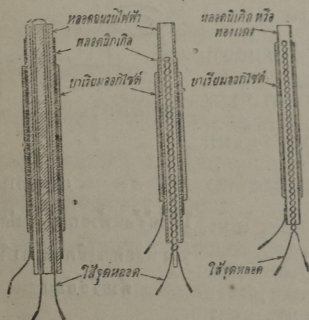
สำหรับเผาคาโทนั้นดีกว่า ดังจะเห็น
ได้จาก $I_H = f(U_H)$ ในรูป ๔๘
คือค่าของกระแสไฟ I_H ที่ค่าสูงขึ้นช้า
กว่า U_H อันความต้องการของได้
หรือคาโทอันสามารถทำให้ร้อนจาก
กระแสไฟดับได้อย่างเดียวกัน โดย

รูป ๔๘ กระแสไฟเผาคาโท I_H ของ
หลอดที่คาโทเป็นวูลแฟรม สัมพันธ์ขึ้น
อยู่กับกำลังดันจุดให้ U_H ต่อปลายขั้วลบ ของเบกเตอร์ สำหรับ
ฮาโนด เข้าที่จุดกึ่งกลางของขั้วลบ

ทรานส์ฟอรัมเมอร์สำหรับเผาได้ ในลักษณะที่จะต้องแต่งกระแสไฟเผา
คาโทดขึ้นให้เปลี่ยนแปลงไปมาก ๆ แล้ว ทางที่ติดกับต้องแต่งทางภาค
โพรมาร์ของทรานส์ฟอรัมเมอร์

ข. การเผาให้คาโทดร้อนทางอ้อม

การเผาคาโทดวิธีนี้ทำให้ความยากต่าง ๆ ดังกล่าวแล้วในวิธีก่อน
หมดสิ้นไป ข้อดีอันใหญ่ยิ่งของวิธีนี้ได้คือนำในตั้งใหม่ แต่ตกอยู่ใน
เรื่องที่ว่ากระแสไฟสถับซึ่งใช้สำหรับเผาคาโทดให้ร้อนนั้นแยกกันเด็ดขาด



รูป ๕๐ คาโทดที่ถูกเผาโดยวิธีอ้อม

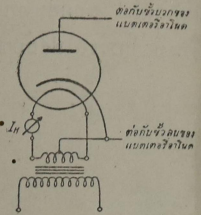
- รูปเขมบัคณม
- แบบ Bifilar
- คาโทดชนิดเผาเร็ว

จาก กระแส อัดค ทรอน ภายใน
หลอด โดยเหตุนี้จึงทำให้การ
ถ่ายทอดเสียงรบกวนอันเกิดจาก
กระแสไฟสถับไปให้แก่วงไฟของ
ฮาโลตดน้อยลง คาโทดชนิด
ที่เผาให้ร้อน ทาง อ้อม แบบ เก่า
(รูป ๕๐) ประกอบด้วยหลอดทำ
ด้วยแมกเนเซียม ซึ่งถูกอุ่นให้
ร้อนจากไฟ ออกมา จาก ภายใน
และที่เปลือกหลอดภายนอกก็มี

หลอดส่วนทำด้วยโลหะสวมทับ

อยู่บนหลอดโลหะหนึ่งมีขั้วของอีกชุดจับอยู่เพื่อเป็นเครื่องช่วยส่งเสริม
ให้อาการร้อนขึ้น โดยเหตุที่ความห่างหรือช่องว่างอันเกิดจากการ
เจาะรูของวัตถุที่ใช้ทำหลอดกันไฟฟ้ากับได้ หลอดสำหรับเผาคาโทดนี้เป็น

คันเหตุทำให้มีเสียงรบกวนขึ้นในหลอดตัวกำลัง (Amplifier) ในการ
สร้างหลอดแบบใหม่ๆ จึงหันมาใช้ Bi หรือ "Goldserie" ทำได้ด้วยแผ่น
แมกนีเซียมขึ้นเป็นหลอดกลมเล็กๆ บิดพันกันตามแบบเกลียว Bifilar หุ้ม
แกนอันทำด้วยเซรามิกแก้วเผา ภายหลังจึงเอาแกนที่หุ้มได้สอดเข้าไปใน
หลอดแมกนีเซียมซึ่งเป็นตัวรับวัดผลราคาสำหรับจ่ายอิเล็กตรอนออก การ
ประกอบส่วนต่างๆ เข้ารวมกันนี้ต้องให้ขนาด
พอเหมาะกันจริงๆ (รูป 50a) ตามวิธีนี้ทำให้
ได้รับผลแห่งการลบดังที่ (Kompensation)
ของกระแสไฟสำหรับเผาได้อันทำให้เกิดมีสนาม
แม่เหล็กขึ้นอีกด้วย บรรดาคาโทดที่เผาให้ร้อน
โดยรวดเร็ว (รูป 50c) แบบใหม่ๆ นั้นมัก
จะพันเป็นเกลียว Bifilar ทั้งเส้นและสอดเข้า
ไปไว้ภายในหลอดเซรามิกซึ่งรับหลอดโลหะ
อันมีวัดผล ราคา สำหรับ แจกจ่าย อิเล็กตรอน
เคลือบอยู่ด้วย วิธีนี้ได้รับความละเอียดในการ
ส่งต่อแห่งความร้อนของคาโทดน้อยลง และทำให้คาโทดร้อน
เร็วขึ้นการ



รูป ๕๑ แสดงการเผา
ไส้ให้ร้อนด้วยกระแสไฟสถับ
ของ หลอด ชนิด เมา คา โทด
ด้วยวิธีอื่น

วงไฟของคาโทดที่เผาให้ร้อนโดยวิธีอื่นจากกระแสไฟสถับแสดง
อยู่ตามรูป ๕๑ ในการใช้กระแสไฟตรงเผาให้ร้อนโดยทางอื่นก็เป็นทำ
นองเดียวกัน ทั้งสองลักษณะนี้จะต่อสายจากต้นกำเนิดกระแสไฟเผาได้
เข้า ณ ตรงจุดใดก็ได้ สำหรับกระแสไฟสถับนั้นเลือกเอาจุดตามเหตุผล
ในทางซิมเมตรเป็นเกณฑ์ คือ เอาที่จุดกึ่งกลางของขดลวดเผาได้

๕. เขตไฟฟ้าประจุในห้วงว่าง (Space Charge)

ก. หลักทั่วไป

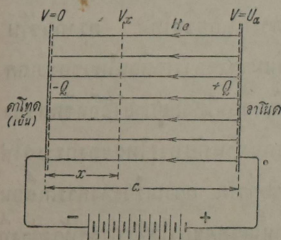
ในการไหลแห่งกระแสไฟฟ้าตามกฎของโอมนั้น ตัวกระแสไฟฟ้าจะ
ไฟฟ้าประจุอันเคลื่อนไหลไปด้วยมีค่าเป็นอัตราส่วน สัมพันธ์กับกำลังดัน
ไฟฟ้าซึ่งต่อกระทำอยู่ที่ตัวนำไฟฟ้า การสะสมไฟฟ้าประจุภายในวิถีแห่ง
การไหลของกระแสไฟนั้นที่ไม่สามารถจะบังเกิดขึ้นได้ ตรงกันข้าม
กับการไหลอันคงที่ ซึ่งอาศัยหลักดำเนินมาจากการเคลื่อนไหวของอิเล็ก
ตรอนในสุญญากาศ อิเล็กตรอนที่เคลื่อนไหวอยู่ภายใต้อิทธิพลของ
กำลังดันไฟฟ้าที่อาโนดนั้นมันลักษณะตรงกันข้ามกับการไหลของกระแสไฟ
ในกฎของโอม คือยังไหลเข้าโนดเข้าไปเท่าใด ความเร็วแห่งการเคลื่อน
ไหวก็ยิ่งทวีสูงขึ้นตามลำดับ ยิ่งกว่านั้นเขตของไฟฟ้าประจุห้วงว่างที่
ไหลเข้าไปทางอาโนดนั้นจำนวนอิเล็กตรอนเคลื่อนไหวยังมีจำนวนน้อยกว่าที่
วิ่งออกจากคาโทด คือที่บริเวณข้างเคียงอาโนดนั้นมีอิเล็กตรอนอันสะสม
ไฟฟ้าประจุมวลพวกห่อมัดอัดอยู่ จึงบัญญัติให้เรียกไฟฟ้าประจุที่อยู่
ภายในห้วงว่างรอบบริเวณคาโทดว่า “ไฟฟ้าประจุห้วงว่าง” ซึ่งภาษา
อังกฤษเรียกว่า Space Charge และเขตของกำลังดันอาโนดที่สามารถ
ต้านแรงผลต่อ “ไฟฟ้าประจุห้วงว่าง” นี้บัญญัติให้เรียกว่าเขตไฟฟ้า
ประจุห้วงว่าง

คือกระแสไฟที่ไหลผ่านในหลอดนี้ไม่เป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับกำลัง
ดันไฟฟ้าที่ต่ออยู่กับอาโนดของหลอด (ดังในหลักของการไหลแห่งกระแส

ไฟฟ้าตามกฎของโอม) แต่กระแสไฟฟ้าจะไหลไปตามกฎของไฟฟ้าประจุห้วงว่าง (Law of Space Charge)

ข. การแบ่งกระจายไปเตนเซียดในเซตคไฟฟ้าประจุห้วงว่าง

เพื่อให้การพิจารณาในทางคำนวณสะดวกต่อไปง่ายขึ้น จึงขอเอาหลอดที่มีอิเล็กโทรดเบนและอยู่ภายในสุญญากาศอันเป็นแอ็บโซลูตขึ้นมา



รูป ๕๒ สนามไฟฟ้าของหลอดอิเล็กตรอนอันมีอิเล็กโทรดเป็นแผ่นแบนในเมื่อคาโทดเย็นและปราศจากไฟฟ้าประจุห้วงว่าง

กล่าวก่อน เราคิดว่าคาโทดของหลอดเป็นแผ่นโลหะแบนถูกเผาให้ร้อนจนลุกเป็นแสง ซึ่งอยู่ห่างจากอานอดอันเป็นแผ่นแบนด้วยระยะเพียงเล็กน้อย ฉะนั้นคาโทดและอานอดจึงเกิดเป็นตัวคอนเดนเซอร์ที่มีแผ่นแบนสองแผ่น. ในขั้นต้นสมมติเชื่อว่าคาโทดยังเย็นอยู่ เราจะได้สนามไฟฟ้าในระหว่างอิเล็กโทรด

ทั้งสองตามที่ได้อ้างไว้ในเทคนิคของฟิสิกส์ซึ่งก็คือ

$$H_e = \frac{B_e}{\epsilon_0 \cdot \epsilon} = \frac{Q}{\epsilon_0 \cdot \epsilon F} \quad \text{โวลต์/ซม.} \quad \dots \quad (32)$$

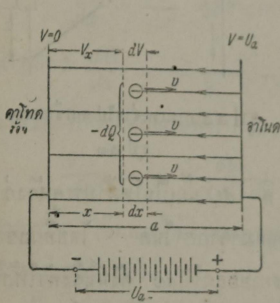
อันเป็นค่าตั้งแรกของสนามไฟฟ้าระหว่างคาโทดกับอานอด ซึ่ง Q เป็นไฟฟ้าประจุของอานอดคิดเป็นคู่ต่อมบ.

F เป็นเนื้อที่แผ่นของอิเล็กโทรดคิดเป็นตารางเซนติเมตร

ϵ_0 เป็นตัวประจำที่กำหนดให้

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^{11}} \quad \text{ " " " " " " " " (33)}$$

ณ ที่นั้นขอสมมุติว่า บรรดาเส้นกำลังทั้งหลายที่ออกจากไฟฟ้าประจุของคาโทดไปยังคาโทด คือหมายความว่าเส้นเขตระหว่างคาโทดกับอาโนด



โนอันปราศจากมือเกิด และกำลังตก (เปรียบเทียบกับรูป ๕๒) ไปเค้นเส้นเขตระหว่างแผ่นของอิเล็กโทรดทั้งสองนี้ เป็นอัตราส่วนสัมพันธ์กับระยะทาง x ดังแสดงอยู่ในรูป ๕๔ (ไปเค้นเส้นเขตของคาโทด ณ ที่นั้นจึงกำหนดให้เท่ากับศูนย์)

รูป ๕๓ สนามไฟฟ้าของหลอดที่มีอิเล็กโทรดแบนในเมื่อมีไฟฟ้าประจุห้วงว่าง

คราวนี้เมื่อทำให้คาโทดร้อนขึ้น แล้วคาโทดจะส่งอิเล็กตรอน

ออกจากตัว อันเป็นไฟฟ้าประจุเข้าไปอยู่ในห้วงว่างระหว่างคาโทดกับอาโนด ส่วนไฟฟ้าประจุที่อยู่ในระหว่าง x และ $x + dx$ ดังแสดงอยู่ในรูปขอหมายด้วย $-dQ$ (การใช้เครื่องหมายลบก็โดยที่มันเป็นอิเล็กตรอนนั่นเอง) ดังนั้นสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงกำลังโดยไฟฟ้าประจุนั้นจึงเป็นไปตามหลักของสมการ (32)

$$\frac{d^2V}{dx^3} = - \frac{I_c}{\epsilon_0 \cdot F \cdot v} \quad (V/cm^3) \quad \dots \dots \dots (35c)$$

ณ ^{๑๕}ที่นั่นค่าความเร็วยังคงการปลุกตัวของ อิเล็กตรอน ออกจาก คาโทดนั้นออกเสีย คือไม่นำเข้าพิจารณาด้วยก็จะได้ความเร็ว v ซึ่ง อิเล็กตรอนตัวหนึ่งมีในเมื่อโปเตนเชียลทั่วๆไปถึง V จาก (22a) จะได้

$$v = - 595 \cdot 10^5 \sqrt{v} \quad (\text{ซม./ว}) \quad \dots \dots \dots (39)$$

เครื่องหมายลบในที่นี้แสดงว่า อิเล็กตรอนเคลื่อนไหวไปในทิศตรง กันข้ามกับทิศแห่งเส้นกำลังแรงแม่เหล็ก (ดูรูป ๕๓) ^{๑๕}นำค่าของ v จาก (25) ใส่ลงใน (35c) จะได้

$$\text{จาก (35c)} \quad \frac{d^2V}{dx^3} = - \frac{I_c}{\epsilon_0 \cdot F \cdot v} \quad (V/cm^2)$$

$$\frac{d^2V}{dx^3} = \frac{I_c}{\epsilon_0 \cdot F \cdot 595 \cdot 10^5 \sqrt{V}} \quad (V/cm^3) \quad \dots \dots \dots (35d)$$

หรือเมื่อนำค่าของ ϵ_0 จาก (33) ใส่แทนอีก แล้วจัดค่าของตัวประจำ เข้ารวมกันเสีย คงได้

$$\begin{aligned} \frac{d^2V}{dx^3} &= \frac{I_c}{\frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^{11}} \cdot F \cdot 595 \cdot 10^5 \cdot \sqrt{V}} \\ &= \frac{4\pi \cdot 9 \cdot 10^{11} \cdot I_c}{F \cdot 595 \cdot 10^5 \cdot \sqrt{V}} \end{aligned}$$

$$\frac{d^2V}{dx^3} = 0,19 \cdot 10^6 \cdot \frac{I_c}{F \cdot \sqrt{V}} \quad \dots \dots \dots (35e)$$

ในการคำนวณผลของสมการนี้ เรากำหนดค่าของ

$$V = K \cdot x^n \quad \dots \dots \dots (40)$$

5c)

จาก

๑

ซึ่ง

2a)

39)

ตรง

จาก

5d)

คือ

ระจำ

5e)

40)

แล้วหาค่าของตัวแปรจำ n และ K ซึ่งพอแก่ความต้องการของ (35e)

ในต้นหน้าค่าของ (40) ใส่ใน (35e) คงได้

$$\frac{d^2 (Kx^n)}{dx^2} = 0,19 \cdot 10^6 \cdot \frac{I_e}{F \cdot \sqrt{K} \cdot x^{\frac{n}{2}}}$$

$$K \cdot n(n-1) \cdot x^{n-2} = 0,19 \cdot 10^6 \cdot \frac{I_e}{F \cdot \sqrt{K} \cdot x^{\frac{n}{2}}} \quad \text{.. (41)}$$

โดยที่บรรดาขนาดต่าง ๆ นอกจาก x แล้ว ส่วนแต่เป็นตัวแปรจำ
 สมการนั้นจะเป็นผลใช้การได้ถูกต้องเฉพาะเมื่อค่าแห่งตัวกำลังของ x
 ทั้งสองข้างแห่งสมการได้กัน
 ซึ่งจะเป็น

$$n-2 = -\frac{n}{2} \quad \text{.. .. . (42)}$$

$$n = \frac{4}{3} \quad \text{.. .. . (42a)}$$

จากผลอนัน เราหาส่วนที่เป็นตัวแปรจำของสมการ (41) ได้

$$K \cdot n(n-1) \cdot x^{n-2} = 0,19 \cdot 10^6 \cdot \frac{I_e}{F \cdot \sqrt{K} \cdot x^{\frac{n}{2}}}$$

$$K \cdot \frac{4}{3} \cdot \left(\frac{4}{3} - 1\right) \cdot x^{\left(\frac{4}{3} - 2\right)} = 0,19 \cdot 10^6 \cdot \frac{I_e}{F \cdot \sqrt{K} \cdot x^{\frac{n}{2}}}$$

$$\frac{4}{9} \cdot K \cdot x^{\frac{2}{3}} = 0,19 \cdot 10^6 \cdot \frac{I_e}{F \cdot \sqrt{K}}$$

$$\frac{4}{9} \cdot K \cdot x^0 = 0,19 \cdot 10^6 \cdot \frac{I_e}{F \cdot \sqrt{K}}$$

$$K = \frac{9}{4} \cdot 0,19 \cdot 10^6 \cdot \frac{I_c}{F \cdot \sqrt{K}}$$

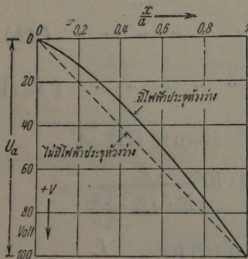
$$K^{\frac{3}{2}} = \frac{9}{4} \cdot 0,19 \cdot 10^6 \cdot \frac{I_c}{F}$$

$$K = (0,428 \cdot 10^6 \cdot \frac{I_c}{F})^{\frac{2}{3}} \quad \dots \quad (43a)$$

อาการเดินของโปเตนเชียลอินตัมพริชชอนอยู่กับ x นี้ หาได้จากค่าของ n ใน (42a) ตาม (40)

$$V = K \cdot x^n$$

$$V = (0,428 \cdot 10^6 \cdot \frac{I_c}{F})^{\frac{2}{3}} \cdot x^{\frac{4}{3}} \quad \dots \quad (40a)$$



รูป ๔๖ แสดงรูปทางเดินของโปเตนเชียล
ในเขตไฟฟ้าประจุห้วงว่าง ของ
หลอดอีเลกโตรดแบน

ใส่ค่าของระยะห่างระหว่างคาโทดกับอานอด a และกำลังดันไฟฟ้า U_a อินตัมพริชชอนด้วยหนึ่งใน (40a) (ดูรูป ๔๓ และ ๔๔) จะได้

$$U_a = (0,428 \cdot 10^6 \cdot \frac{I_c}{F})^{\frac{2}{3}} \cdot a^{\frac{4}{3}} \quad \dots \quad (40b)$$

โดยการต่อ (40a) เข้ากับ (40b) จะได้การแบ่งกระจายโปเตนเชียล

214

537

82567

๑๓๓)

ของหลอดในเขตไฟฟ้าประจุห้วงว่างเป็น

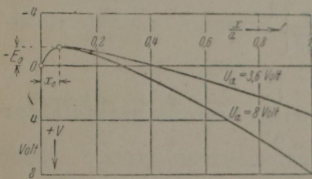
$$V = (0.428 \cdot 10^6 \cdot \frac{I_c}{F})^{\frac{2}{3}} \cdot x^{\frac{4}{3}}$$

$$V = \frac{U_a}{a^{\frac{1}{3}}} \cdot x^{\frac{4}{3}}$$

$$V = U_a \cdot (\frac{x}{a})^{\frac{4}{3}}$$

(44)

อาการของโปเคนเซียดที่คำนวณได้ตามความเข้มข้นข้างบนนี้
แสดงให้เห็นตามรูป ๕๖ เพื่อเปรียบเทียบกันจึงได้เขียนรูปของเส้นแสดง
อาการโปเคนเซียดบนด้วยเส้นไขปลา ซึ่งแสดงอาการโปเคนเซียดในเมื่อ
ไม่มีไฟฟ้าประจุห้วงว่างปรากฏอยู่ด้วย ความเข้มข้นของสาร (44)
นี้จะใช้ได้ก็โดยในเขตจำกัด ซึ่งอาศัยการจำกัดเขตในกำลังคั่นฮาโนด



อันมีค่าใหญ่กว่าสูงมาก ๆ จึง
จะใช้ได้ แต่ว่าจะต้งน้อยกว่า
กำลังคั่นอื่นตัว U_{a0} สำหรับ
กำลังคั่นฮาโนดน้อย ๆ นั้น ไม่
อนุญาตให้คิด ความเร็วคั่น ของ
อิเล็กตรอนจากการพิจารณา
ต่อไป ดังนั้นจึงได้อาการของ

รูป ๕๖ แสดงรูปทางเดินของโปเคนเซียด
ในหลอดอิเล็กโทรดแบบโนเมื่อมีกำลังคั่นไฟ
ฮาโนดน้อย ๆ

โปเคนเซียดโดย อาศัยการ พิจารณา ความเร็วการ ปลดปล่อยอิเล็กตรอน
กับที่แสดงตามรูป ๕๖ E_c ณที่นี้เป็นงานปลัดแยกตัว และด้วยเหตุนี้

ในการแสดงรูป จะต้องให้ค่าของ x_0 คือ a ใหญ่มากๆ และ x_0^3 ($\approx 10^4$ ซม.) เป็นระยะห่างของเขตคัปปลิงคอร์ดหรือเขตคัปโปเลนเซียมของผิวหน้าแห่งคาโทด

ก. กฎของไฟฟ้าประจุห้วงว่าง (Space charge)

ความรู้ในเรื่องความสัมพันธ์ของกระแสไฟเดินผ่านในหลอด I_e ขึ้นอยู่กับกำลังดันอาโนด U_a นั้นสำคัญกว่าความรู้ของอากรโปเตนเชียลภายในหลอด สำหรับหลอดทึบอิเล็กโทรมานจะได้อ่านค่าของ I_e อันเป็นฟังก์ชันของกำลังดันอาโนดจาก (40b)

$$I_e = \left(2,34 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{F}{a^2} \right) \cdot U_a^{\frac{3}{2}} \quad (A) \quad \dots \quad (45)$$

$$U_a = \left\{ 0,428 \cdot 10^6 \frac{I_e}{F} \right\}^{\frac{2}{3}} \cdot a^{\frac{4}{3}}$$

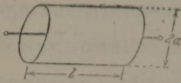
$$\frac{U_a}{a^{\frac{4}{3}}} = \left\{ 0,428 \cdot 10^6 \cdot \frac{I_e}{F} \right\}^{\frac{2}{3}}$$

$$\left\{ \frac{I_e}{F} \right\}^{\frac{3}{2}} (0,428 \cdot 10^6)^{\frac{3}{2}} = \frac{U_a}{a^{\frac{4}{3}}}$$

$$I_e = \frac{1}{0,428 \cdot 10^6} \cdot \frac{U_a^{\frac{3}{2}}}{a^{\frac{4}{3} \cdot \frac{3}{2}}} \cdot F$$

$$I_e = \frac{1}{0,428 \cdot 10^6} \cdot \frac{F}{a^2} \cdot U_a^{\frac{3}{2}}$$

$$I_e = \left\{ 2,34 \cdot 10^{-6} \frac{F}{a^2} \right\} U_a^{\frac{3}{2}} \quad (A)$$



รูป ๕๘ แสดงขนาดสำหรับ คำนวณหาตัวประจำ
K ของหลอดที่มีอิเล็กโทรดเป็นรูปกระบอก

แปลงรูปของสมการนี้ เพื่อความสะดวกในการเขียน

$$2,31 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{F}{a^3} = K \quad \left\{ A / V^{\frac{3}{2}} \right\} \dots \dots (46)$$

ในเมื่อ F เป็นเนื้อที่หน้าตัดของอาโนดเป็นตารางเซนติเมตร และ a เป็นระยะห่างจากคาโทดเป็น ซม. ฉะนั้นได้ความจำเพาะของ $I_c = f(U_a)$ ซึ่งเป็นกฎของไฟฟ้าประจุห้วงว่าง (Law of space charge)

$$I_c = K \cdot U_a^{\frac{3}{2}} \cdot (A) \dots \dots (45a)$$

เขตที่จะใช้สูตรหรือกฎข้างบนนี้ได้ผล จำกัดด้วยภายในเขตของไฟฟ้าประจุห้วงว่าง หมายความว่า กฎข้างบนนี้จะใช้ได้เฉพาะเมื่อ

$$0 \ll U_a < U_{as} \dots \dots (47)$$

เขตที่ใช้ได้เบื้องล่างนี้อาศัยจากการคำนวณของการแบ่งกระจายไปเคน
เรียกว่า ความเร็วการปลักตัวของอิเล็กตรอนออกมาจากคาโทดนั้น
ไม่นำเข้ามาพิจารณา และ I_c สำหรับ กำลังดัน อาโนดลบมีค่าเป็นศูนย์
ส่วนเขตที่ใช้ได้เบื้องบนเป็นเขตกำหนดตามการยอมปล่อยอิเล็กตรอน
ออกจากผิวของคาโทด หมายความว่าตามเกณฑ์ของกระแสไฟฟ้าอิ่มตัว
ที่กำหนดให้ กำลังดันอิ่มตัว U_{as} ในที่นี้หมายถึงกำลังซึ่งสามารถกด
เอาบรรดาอิเล็กตรอนทั้งหมดที่ออกมาจากคาโทดได้ ในระยะที่กำหนด

เขตคาม (47) อันเป็นระยะภายในเขตไฟฟ้าประจุห้วงว่าง ปรากฏว่า อิทธิพลของการเผาคาโทสนั้นไม่จำแนกต่ออาการเดินของเส้นโค้งเท่าใดนัก กฎไฟฟ้าประจุห้วงว่าง (45a) ขยายตัวไป ดังอาการจาก (47) ปรากฏมาแล้ว แต่ทว่าเฉพาะในเขตที่กล่าวถึงต้นอาโนดเป็นบวก ในกำลังต้นอาโนดที่เป็นลบ เมื่อไม่คำนึงถึงกระแสเริ่มต้น (Starting current) แล้ว จะไม่มีกระแสไหลเลย หลอดอิเล็กตรอนนี้สามารถใช้เป็นต้นเปิดกระแสไฟ (Current valve) ได้ การแบ่งกระจายไปเด่นชัดอันจำกัดภายในอิเล็กโตรดแบนสำหรับกฎไฟฟ้าประจุห้วงว่างนี้อาจคิดหได้ง่ายได้ ทั้งนี้เนื่องจากการคำนวณแสดงให้เห็นว่า สำหรับอิเล็กโตรดเป็นรูปกระบอกนั้นมีความสัมพันธ์อย่างเดียวกันกับ (45a) สำหรับอิเล็กโตรดเป็นรูปกระบอกที่แสดงอยู่ตามรูป ๕๘ จะได้พื้นที่ผิวของอาโนด $F = 2\pi a \cdot l$ จากค่า F อันนี้จะหาค่าของตัวประจำ K ตาม (46) ได้

$$(46) \quad K = 2,34 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{F}{a^2} \quad (A/V^{\frac{3}{2}})$$

$$K = 2,34 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{2\pi a \cdot l}{a^2} = 14 \cdot 7 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{l}{a} \dots \dots (A/V^{\frac{3}{2}})$$

$$\dots \dots (46a)$$

ซึ่ง a เป็นรัศมีของอาโนดรูปกระบอก
 l เป็นส่วนยาวจำแนกของคาโทด } คิดเป็น ซม.

สูตรที่ได้ข้างต้นนี้ใช้ได้ภายในเขตจำกัด คือว่าในเขตที่รัศมีของอาโนดรูปกระบอกอย่างน้อยจะต้องเป็น 10 เท่ารัศมีของคาโทด ส่วนมากนักใช้ได้กับหลอดชนิดคาโทดถูกเผาให้ร้อนด้วยวิธีตรง สำหรับ

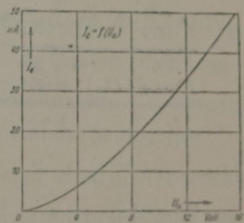
พวกหลอดที่คาโทดถูกเผาด้วยวิธีอื่นนี้ ระยะระหว่างคาโนดกับคาโทด (หรือระหว่างคาโทดกับกริด คูณตอนอื่นกล่าวถึงหลอดที่นี้กริด) ส่วนมากน้อยกว่ารัศมีเฉลี่ยปานกลาง และสนามไฟฟ้าระหว่างนั้นเกือบเสมอเท่ากัน ฉะนั้นสำหรับหลอดชนิดนี้จึงใช้สูตร (46) อันนับว่าเหมาะแก่ส่วนประกอบที่ขนานกัน ซึ่ง a เป็นระยะห่างระหว่างคาโนดกับคาโทด และ H' เป็นเนื้อของคาโนดอย่างใกล้ชิด

ง. เปรียบเทียบเส้นโค้งบอกลักษณะไฟฟ้าประจุห้วงว่างอันได้จากการคำนวณกับการวัดได้ อาการเดินของเส้นโค้งทางตำรา

อาการเดินเส้นโค้งทางตำราของเส้นโค้งลักษณะไฟฟ้าประจุห้วงว่างนี้ ได้มาจากสูตรไฟฟ้าประจุห้วงว่าง (45a) ขอยืมบอกเอาตัวอย่างจากหลอดชนิดเผาคาโทดให้ร้อนโดยวิธีอื่น ซึ่งมีตัวประจำ

$$K = 0.8 \cdot 10^{-3} A/V^{\frac{3}{2}} = 0.8 \text{ mA}/V^{\frac{3}{2}}$$

รูป ๕๕ แสดงทางเดินของเส้นโค้งลักษณะไฟฟ้าประจุห้วงว่างที่คำนวณ



สำหรับหลอดที่กล่าวนี้ อัตราส่วน $F/a^3 = 342$ ด้วยค่าอันนี้คำนวณหาค่าของตัวประจำแห่งไฟฟ้าประจุห้วงว่างตาม (46) ได้

$$K = 234 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{F}{a^3} \quad (A/V^{\frac{3}{5}})$$

$$K = 2,34 \cdot 10^{-6} \cdot 342 = 0,8 \cdot 10^{-3} \quad A/V^{1,5}$$

(จาก 45a) จะหากระแสไฟที่มีขึ้นภายในเขตไฟฟ้าประจุห้วงว่างได้

$$I_c = 0,8 \cdot U_a^{\frac{3}{5}} \quad (mA)$$

เมื่อคำนวณค่าของ I_c ในกำลังตัน U_a ต่าง ๆ ก็จะได้ค่าของ

$I_c = f(U_a)$ ดังที่ปรากฏในตารางข้างล่างนี้

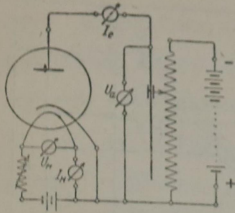
U_a	0	4	8	12	16	โวลต์
I_c	0	6,4	18,1	33,2	51,2	มิลลิแอมแปร์

นำค่าข้างบนเขียนเป็นเส้นโค้งลงในตารางโคออร์ดิเนต จะแสดงให้เห็นอาการเดินของเส้นโค้งทางตำราแห่งเส้นโค้งบอกลักษณะไฟฟ้าประจุห้วงว่างดังรูป 59

β) อาการเดินของเส้นโค้งบอกลักษณะไฟฟ้าประจุห้วงว่าง

$$I_c = f(U_a) \quad \text{ที่แท้จริง}$$

อาการเดินของเส้นโค้งบอกลักษณะไฟฟ้าประจุห้วงว่าง $I_c = f(U_a)$ นั้นทำการวัดหาได้โดยอาศัยวงไฟตามแสดงในรูป 60 ผลที่วัดได้นั้นเขียนเป็นเส้นโค้งประกอบดังในรูป 61 เปรียบเทียบอาการเดินของเส้นโค้งที่ได้มานี้กับเส้นโค้งบอกลักษณะไฟฟ้าประจุห้วงว่าง ซึ่งคำนวณมาได้ในรูป 59 จึงทำให้เห็นว่า เส้นโค้งที่ทำการวัดมานี้มีลักษณะ



รูป ๖๐ วงจรสำหรับหาเส้นโค้งลักษณะของหลอดที่ไม่มีกริด (ไดโอด)

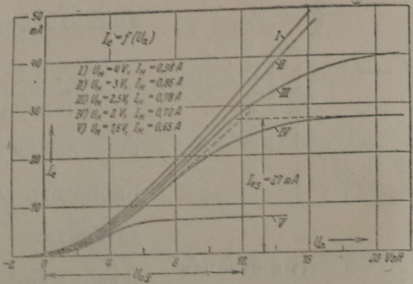
ประจุห้วงว่างได้ คัดออกเสีย สำหรับการเผาคาโทดด้วยความร้อนน้อย ๆ จะบังเกิดอาการอิมิตัวภายในเขตที่ทำการทดลองดังตัวอย่าง สำหรับ $U_H = 2$ โวลต์ (เส้นโค้งหมายเลข IV) กระแสไฟอิมิตัว $I_{es} \approx 27$ มิลลิแอมแปร์ ซึ่งมีกำลังคั่นอิมิตัว $U_{a2} = 12$ โวลต์ เมื่อไม่เพ่งแสงถึง อาการผิดแผกอันเกิดจากความเร็วคั่นของอิเล็กตรอนเป็นต้นเหตุทำให้เกิดชนแล้ว ก็จะได้เห็นว่า เส้นโค้งแสดงลักษณะไฟฟ้าประจุห้วงว่าง โดยการวัดและโดยการคำนวณนั้นคงกัน คือหมายความว่าสำหรับภายในเขต

$$0 \ll U_a < U_{a2}$$

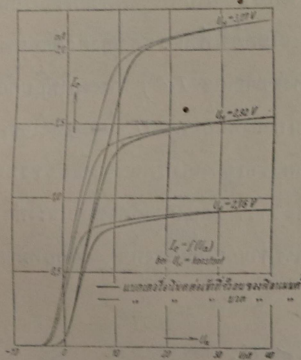
อิทธิพลของการเผาให้คาโทดร้อนขึ้นต่ำลงคืออาการเดินของเส้นโค้งในเขตไฟฟ้าประจุห้วงว่างของหลอดที่ใช้วิธีเผาคาโทดโดยทรง

ฉันทันชนอยู่กับกระแสไฟเผาคาโทด ซึ่งตามสูตรของไฟฟ้าประจุห้วงใน (45a) นั้นหาได้ปรากฏอาการเช่นนั้นไม่ ด้วย ความผิดแผกอันเกิดจากความเร็วคั่นกับสำหรับ $U_a = 0$ ด้วย คือ กระแสไฟอิมิตัว ณ ตรงนั้นได้หมดไปทีเดียว จึงต้องนำมาให้แก่อความเร็วปลดปล่อยของอิเล็กตรอนออกจากคาโทด ซึ่งโดยการพิสูจน์หาสูตรไฟฟ้า

น้อยกว่าในหลอด
ชนิดเฝ้าคาโทดโดย
วิธีอ้อมอยู่มากมาย
สำหรับหลอดชนิด
นี้คือหลอดที่ใช้คา
โทดทำด้วยวอลแฟรม
ซึ่งแต่เดิมคงบอก
ลักษณะ $I_a = f(U_a)$
อยู่ตามรูป ๖๒ ใน
การวัดหาเส้นโค้ง
บอกลักษณะที่กล่าว



รูป ๖๑ เส้นโค้งลักษณะไฟฟ้าประจุท่งว่งที่ทำกรวัด
ได้ (วัดจากหลอดที่เฝ้าคาโทดโดยวิธีอ้อม)



รูป ๖๒ เส้นโค้งลักษณะกระแสฟิอิมิช
ขึ้น $I_a = f(U_a)$ ของหลอดที่ใช้คาโทด
ทำด้วยวอลแฟรมและเฝ้าคาโทดโดยตรง

นี้จะต้องสังเกตด้วยว่า ที่ปลาย
ขั้วลบของแบตเตอรี่ไฟอานาคือ
เข้าที่ขั้วโคของคาโทด ถ้า
ปลายขั้วลบของแบตเตอรี่ไฟอานาคือ
เข้าที่ปลายขั้วบวกหรือขั้วลบ
ของคาโทดนั้นจะได้เส้นโค้งบาง
หรือหนา ตามกฎแต่นิยมใช้เส้น
โค้งที่ปลายขั้วลบของแบตเตอรี่อานาคือ
เข้ากับขั้วลบของโคได้ (เส้น
โค้งหารูป ๖๒) ในหลอดชนิด
ที่ใช้คาโทดซึ่งเฝ้าให้ร้อนด้วยวิธี

ตรง ยังมีอาการของกำลังดันตกต่อได้อัตตบึงเกิดขึ้นอีก อาการอันนี้ทำให้เส้นโค้งลักษณะลาดลง

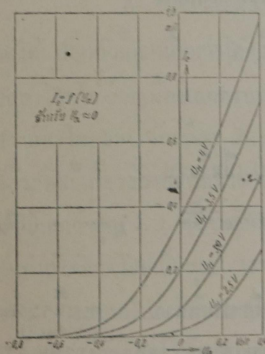
๖. เขตที่กระแสไฟเริ่มต้น (Starting Current)

ตามสูตรของไฟฟ้าประจุห้วงว่าง (45a) และการจำกัดเขตค่าทางฟิสิกส์ที่ประกอบกันคือ (47) นั้น กำลังดันเอาโนด U_a และกระแสไฟ I_c จะต้องหมดไป คือ

$$(45a) \quad I_c = K \cdot U_a^{\frac{2}{3}}$$

เมื่อ $U_a = 0$ หรือ $U_a < 0$ แล้ว สูตรข้างบนนี้ใช้ไม่ได้

ฉะนั้นสำหรับ $U_a = 0$ เรายังถือว่านั่นเมื่อกำลังดันรองเอาโนดเป็นลบไม่ยอมให้กระแสไฟ I_c ไหลได้โดย แต่ตรงกันข้าม ตาม



รูป ๖๓ เขตที่กระแสไฟเริ่มต้น
เส้น $[I_c = f(U_a)]$ ของหลอด
ทแยงคาโทดไลเซอร์อีเอ็ม

ผลของการทดลองได้แสดงให้เห็นว่า สำหรับเมื่อ $U_a = 0$ หรือยิ่งกว่านั้นเมื่อ U_a เป็นลบด้วยจำนวนค่าๆ ก็ยังมีกระแสไฟเดินไหลไปยังเอาโนดด้วยจำนวนน้อยๆ กระแสไฟเอาโนดที่ไหลไปภายใต้ลักษณะที่กล่าวนี้ รอบัญญัติให้เรียกว่า “กระแสไฟเริ่มต้น” (Starting Current) กระแสไฟเริ่มต้นนี้เกิดเนื่องมาจากความเร็วซึ่งอิเล็กตรอนปลัดคิวออกจากคาโทด และกระแสไฟประเภทนี้ไม่อาจเข้ากับกฎของไฟฟ้าประจุห้วงว่างได้

เพราะเหตุว่าการพิสจุณหาสมการแห่งกฎไฟฟ้าประจุห้วงว่าง โดยหวังจะ
ให้การแสดงทางเลขเห็นได้ง่ายตายชนน คัดเอาความเร็วแห่งการปลัก
ตัวของอิเล็กตรอนจากคาโทดออกเสีย คือ มิได้นำเข้าพิจารณาด้วย
บรรดาอิเล็กตรอนที่แยกตัวออกมาจากคาโทดมีความเร็วที่เราคิดกำหนด
ให้ละมีความสามารถที่จะเดินค้ำถ่วงดันไฟฟ้าลบ ซึ่งอนุโตมตามกับ
ความเร็ว ทำนองเดียวกันกับอิเล็กตรอนที่อยู่ภายในคาโทด

จำนวนอิเล็กตรอนทั้งหมดซึ่งปลักตัวออกจากคาโทดในเวลาหนึ่ง
วินาทีนั้นกำหนดแทนด้วยกระแสไฟ้อิมตัว I_{es} สมการ (31a)

$$I_{es} = 60,2 \cdot F_K \cdot T^2 \cdot e^{-\frac{T_0}{T}} \quad (A)$$

โดยที่ตามสมการ (27a) อาการร้อนของคาโทด

$$T = 1160 E_m$$

และอาการร้อนการปลักตัว

$$T_0 = 11600 E_0$$

จึงหาค่าของกระแสไฟ้อิมตัวจาก (31a) เป็นในรูป

$$I_{es} = 60,2 \cdot F_K \cdot T^2 \cdot e^{-\frac{T_0}{T}} \quad (A) \quad \dots \quad (31b)$$

ในท่น E_0 เป็นก้ำถ่วงดันปลักตัว

E_m เป็นก้ำถ่วงดันอาการร้อนเฉยปานกลาง ตามนี้จะเห็นว่า
เฉพาะแต่อิเล็กตรอนที่ปลักตัวออกมาจากคาโทดแล้วเท่านั้น ที่อาจ
สามารถชนะก้ำถ่วงดันปลักตัว E_0 ได้ คราวนี้ถ้าก้ำถ่วงดันอาโนดเป็น
ศูนย์ บรรดาอิเล็กตรอนทั้งหลายที่ปลักตัวออกมาจากคาโทดแล้วค้

ไปสู่อาโนด ในทันทีจะเป็นได้ก็ต่อเมื่อไฟฟ้าประจุห้องว่างนั้นยังเกิดขึ้น จากตัวของอิเล็กตรอนเอง มิได้ขัดขวางไว้ ไฟฟ้าประจุห้องว่างนั้นทำให้เกิดกำลังดันไฟฟ้าต้านชน อันเป็นกำลังดันที่อิเล็กตรอนทุกตัวนั้นจะ ไปให้ถึงอาโนดจากต้องชนะต่อกำลังดันต้าน อันนี้ กำลังดันนั้นขอ บัญญัติให้เรียกว่ากำลังดันต้าน U_K และนำเขาคำนไปใช้กับ (31b) ก็ จะได้กระแสไฟอิมิชัน I_{eo} อันเกิดขึ้นขณะเมื่อกำลังดันอาโนด $U_a = 0$ คือ (31b)

$$I_{es} = 60,2 \cdot F_K \cdot T^2 \cdot e^{\frac{E_0}{E_m}} \quad (A)$$

$$I_{eo} = 60,2 \cdot F_K \cdot T^2 \cdot e^{-\frac{E_0 + U_K}{E_m}} \quad (A) \dots (48)$$

กำลังดันปลัดกดวนดูเหมือนกันได้ทั้งสองชนออก U_R และอิเล็กตรอนที่จะบิน ไปสู่อาโนดได้ก็ต่อเมื่ออิเล็กตรอนมีความเร็วก่อนที่จะปลัดกดออกพ้น ไปจากคาโทดอย่างน้อยที่สุด $E_0 + E_R$ โวลต์ โดยเหตุที่เซตกระแส ไฟว์เร้นเดินนี้เกี่ยวข้องกับอยู่เฉพาะแต่กับกำลังดันอาโนดเท่านั้น คือกำลัง ดันที่น้อยกว่าศูนย์ จึงจำกัดเซตแห่งการพิจารณาของเราแต่เฉพาะ ตอนกำลังดันอาโนดเป็นศูนย์ เราก็คิดถึงหลอดที่ที่มีกำลังดันอาโนดเป็นลบ ค่อยอยู่ และต่อไปทำให้กระแสไฟอาโนดลดน้อยลงได้โดยที่อิเล็กตรอน จะต้องออกเดินมิใช่แต่ให้ชนะกำลังดัน $E_0 + E_R$ เท่านั้น ยังจากต้อง ให้ชนะต่อกำลังดันของอาโนด U_a อีกด้วย ฉะนั้นกระแสไฟที่ไหลผ่าน อาโนดในทันทีจะได้จาก (48)

เพื่อให้่ายขึ้น จึ้นำเอาค่าของ I_{eo} จาก (34) เข้ามาใส่ใน (35) จะได้กระแสไฟรั่วเริ่มต้นเป็น

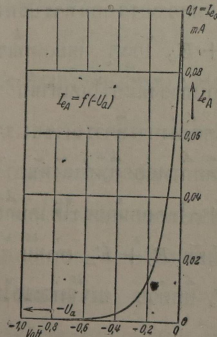
$$I_{eA} = 60,2 \cdot F_K \cdot T^3 \cdot e^{-\frac{E_o + U_R + U_a}{U_m}} \quad (A) \quad (35)$$

$$I_{eA} = 60,2 \cdot F_K \cdot T^3 \cdot e^{-\frac{E_o + U_R}{E_m}} \cdot e^{-\frac{U_a}{E_m}}$$

$$I_{eA} = I_{eo} \cdot e^{-\frac{U_a}{E_m}} \quad \dots \dots \dots (35a)$$

สมการข้างต้นมีบัญญัติให้เรียกว่า “ สมการกฎของกระแสเริ่มต้น ” (Law of Starting Current Equation) และใช้ได้สำหรับกำลังดันอาโนดเป็นลบ จนถึงกำลังดันอาโนด $U_a = 0$ ระยะที่สมการกฎของกระแสเริ่มต้นใช้ได้เพียงใด อาจเขียนเป็นสมการแสดงด้วย

$$U_a \leq 0 \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (50)$$



รูป ๖๔

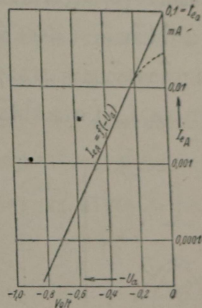
กระแสไฟรั่วเริ่มต้นอันสัมพันธ์กับกำลังดันอาโนดที่เป็นลบ U_a (ตามสเกลของเส้นตรง)

ภายในเขตนี้ เรียกว่าเขตกระแสไฟเริ่มเดิน และกระแสไฟ I_{eA} อันสัมพันธ์ขึ้นอยู่กับกำลังต้นอาโนด U_a นั้นหาการเดินของเส้นโค้งตามเขตหมกกำลัง

สมมติตัวอย่างเอาว่า I_{eo} เป็นกระแสไฟเมื่อกำลัง $U_a = 0$ มีค่าเป็น 0.1 mA และกำลังต้นอาการร้อน E_m เป็น 0.1 โวลต์ เราจะได้กระแสไฟเริ่มเดิน

$$I_{eA} = 0.1 \cdot e^{-\frac{U_m}{0.1}} \quad (\text{mA})$$

จากผลของการคำนวณข้างต้น จะได้เส้นโค้งแสดงลักษณะของกระแสไฟเริ่มเดินดังในรูป ๖๔ และ ๖๕ และตามลักษณะของเลขหมกกำลังแห่งเส้นโค้งนี้ จึงแสดงผลของเส้นโค้งด้วยโคออดิเนต อันมีสระเกดแบ่งตามต็อคการิตม (ในรูป ๖๕) ได้ประโยชน์ดีกว่าที่จะใช้ตาราง สระเกดเส้นตรงธรรมดา (รูป ๖๔) สำหรับตัวอย่างที่กล่าวแคว้นต้องกันกับสมการ (49a) อันสมมติเอาอาการร้อนของคาโทดเป็นตัวประจำ เมื่อเปลี่ยนแปลงอาการร้อนของคาโทดไปก็จะทำให้ I_{eo} และ E_m เปลี่ยนแปลงตามไปด้วย คือทำให้เส้นโค้งลักษณะของกระแสไฟเริ่มเดินนี้ย้ายที่ไป และในเวลาเดียวกัน



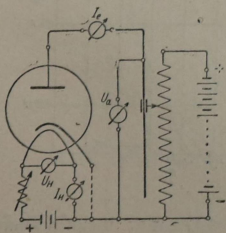
รูป ๖๕ กระแสไฟเริ่มเดิน I_{eA} อันสัมพันธ์ขึ้นอยู่กับกำลังต้นอาโนดที่เป็นลบ U_a (ตามสเกลครึ่งลอการิทึม)

ทำให้เส้นโค้งลักษณะของกระแสไฟเริ่มเดินนี้ย้ายที่ไป และในเวลาเดียวกัน

กันทำให้ความเอียงของเส้นเปลี่ยนแปลงไปด้วยเล็กน้อย สำหรับอาการ
อิมพัลส์แรง ๆ นั้น อาการของไฟฟ้าประจุห้วงว่างแสดงผลให้รู้สึกได้ตั้ง
แต่เมื่อกำลังดันเอาโนดเป็นลบอ่อน ๆ เส้นโค้งกระแสไฟเริ่มเดินผิดแผก
ไปจากทางเดินของเส้นโค้งอื่นที่มีกำลังดันไปด้วยอาการที่แสดงไว้ด้วยเส้น
ไขว่ปลา (รูป ๖๕)

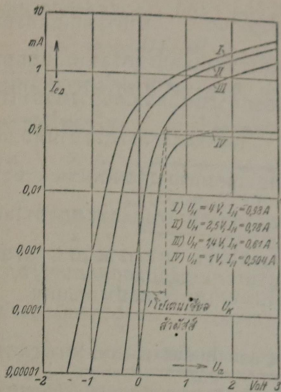
เส้นโค้งลักษณะที่ทำการวัดหา

เพื่อเปรียบเทียบกับผลการพิจารณาที่ตามมา จึงได้วัดหาเส้นโค้ง
บอกลักษณะของกระแสไฟเริ่มเดินด้วยวงไฟที่แสดงตามรูป ๖๖ โดย
อาศัยเส้นโค้งที่วัดและเขียนมาได้ (รูป ๖๗) ทำให้เห็นได้ว่ากฎของ
กระแสไฟเริ่มเดิน (49a) นั้นถูกต้องดี โดยการใช้กำลังดันเอาโนดให้หลุด
ต่าง ๆ คือว่าด้วยอาการร้อนของคาโทดต่าง ๆ จะทำให้ขนาดของกระแส
ไฟเอาโนด I_{eo} (กระแสไฟอิมพัลส์เมื่อ $U_a = 0$) เปลี่ยนแปลงไปตาม



รูป ๖๖ วงจรสำหรับวัดหา
เส้นโค้งบอก ลักษณะ กระแสไฟเริ่ม
เดินของ หลอดไดโอดที่เอาโนด
โค่วรีอ้อม

กฎของกระแสไฟเริ่มเดินที่ห้วงอยู่เช่นเดียว
กันกับความเอียงของเส้นโค้งด้วย สำหรับ
การเอาโนดด้วยความร้อนสูง ๆ (เส้นโค้ง
 I และ II) นั้น อาการของไฟฟ้าประจุ
ห้วงว่างต่ำแดงให้รู้สึกได้ ตั้งแต่ระยะกำลัง
ดันเอาโนดยังเป็นศูนย์อยู่ ในการเอาโนด
ด้วยความร้อนน้อย ๆ (เส้นโค้ง IV) ไฟ
ฟ้าประจุห้วง ว่าง มีน้อยจึงทำให้เส้นโค้ง
ลักษณะ $I_e - U_a$ ในระยะที่กำลังดันเอาโนด



รูป ๖๗ เส้นลักษณะของกระแสไฟ
เริ่มต้นของหลอดสุญญากาศโดยวิธีอ้อม
สำหรับแรงดันไฟฟ้าใส่กำลังต่าง ๆ

เป็นบวกมีอัตราการเติบโตอย่างรวดเร็ว (Exponential) สำหรับในตอนที่ไฟฟ้าประจุห้วงว่างน้อยมากจนอาจคิดทิ้งเสียได้นั้น เส้นโค้งบอกลักษณะของกระแสไฟเริ่มต้นจะเห็นเข้ามาสู่อาการอิ่มตัวโดยตรง ด้วยการยืดเส้นของเส้นโค้งกระแสไฟออกมาด้วยเส้นโค้งกระแสไฟเริ่มต้นออกไปให้ตัดกันจะทำให้หาค่าของ โพลาร์ไรเซชันสัมผัส (Contact potential) และความต่างพลังงานปลั๊กตัวของคาโทดกับของแอนโนดได้

๗. อิเล็กตรอนผิ้วตัวเข้าในโลหะ

ก. หลักทั่วไป

ในหลอดสุญญากาศที่มีสมบัติว่างอากาศสูงมากนั้น มีอาการตามหลักของฟิสิกส์อยู่สามประการคือ อาการแห่งอิเล็กตรอนปลั๊กตัวออกจากคาโทดที่ถูกเผาจนสุก ไซนประการหนึ่ง อาการเคลื่อนไหวของอิเล็กตรอนเดินทางผ่านสุญญากาศอีกประการหนึ่ง และประการที่สามคืออาการ

ท่อเอกทรอนเดินฝั่งตัวเข้าในโลหะของอาโนด อาการท่อเอกทรอน
ปลัดขั้วแยกออกและฝั่งตัวเข้าในเป็นอาการของอันหนึ่งท่ตรงข้ามกับอีกอัน
หนึ่ง อาการท่อเอกทรอนปลัดขั้วแยกออกนั้นจะบังเกิดขึ้นโดยการท่วอาการ
ร้อนของคาโทดส่งจนจนพอเพียง ในทำนองอาการตรงข้ามท่อเอก
ทรอนฝั่งตัวเข้าไปในอาโนด ทำให้อาโนดมีอาการร้อนเพิ่มขึ้น ทงน
เป็นด้วยเอนเนอยีเคดอนไหวของท่อเอกทรอนได้ส่งให้เก้โลหะของอาโนด
จากการพิจารณาอย่างง่าย ๆ อันหนึ่งเป็นทีเชื่อได้ว่า อาการของท่อเอกทรอน
แยกตัวออกและฝั่งตัวเข้าในโลหะเป็นไปตามกฎที่ใช้ได้อย่างเดียวกัน

ข. กำลังงานที่เสียไปในอาโนด (Anode dissipation)

บรรดาท่อเอกทรอนที่มันเข้าไปสู่อาโนดไปกระทบกับอาโนดด้วย
ความเร็ว v อันอนุโลมตามกำลังดันอาโนดที่ทำให้เดินผ่านตลอดตัว
ฝั่งตัวเข้าไปในเนื้อโลหะของอาโนด และณที่นั้นจ่ายเอนเนอยีเคดอนไหว
 $m \cdot v^2/2$ ให้แก่ท่อเอกทรอนที่มันอยู่ในโลหะ อาการอันนี้จะถูกเร่งและเพิ่ม
พุดความเร็วเฉลี่ยปานกลางของคนที่ส่งขึ้น ซึ่งเป็นไปตาม (25a) ด้วย
การท่วอาการร้อนของอาโนดขึ้นทันที คือว่าในทุกหนึ่งวินาที ท่อเอกทรอน
จำนวน Z ตัวฝั่งตัวเข้าไปในอาโนดแต่ละตัวก็มีความเร็ว v ฉะนั้นกำลัง
งานที่เข้าไปยังอาโนดซึ่งกล่าวกันโดยทั่วไปว่า “กำลังงานที่เสียไปใน
อาโนด” (Anode dissipation) อันประกอบด้วยสมการเป็น

$$N_v = \frac{1}{2} m v^2 \cdot Z \cdot 10^{-7} \quad (\text{วัตต์}) \quad \dots \dots \dots (51)$$

ตามสมการ (21) $\frac{1}{2} m v^2 = q \cdot U_a \cdot 10^{-7}$ เชิร์ก

เมื่อแทนค่าอันลงใน (51) จะได้

$$N_o = q \cdot U_a \cdot 10^7 \cdot Z \cdot 10^{-7} = U_a \cdot q \cdot Z \text{ (วัตต์)} \quad \dots (51a)$$

เมื่อได้ค่าของไฟฟ้าประจุ $q \cdot Z$ คือ ๑ วินาทีเข้าไปยังฮาโนดแทนด้วย กระแสไฟฟ้าโนด I_o ก็จะได้กำลังงานที่เสียไปในฮาโนด

$$N_o = U_a \cdot I_o$$

(วัตต์) \quad \dots \quad (51b)

กำลังงานอันนี้ถูกแปลงเป็นความร้อนในฮาโนด และทำให้การร้อนของฮาโนดท่วสูงขึ้น ความสูงของการร้อนขึ้นเกี่ยวกับการจ่ายความร้อนของฮาโนด การแจกจ่ายความร้อนของฮาโนดออกจากตัวในหลอด ท่อกำลัง (Amplifier) ที่ผ่านสัญญาณนั้น ส่วนใหญ่แจกจ่ายไปด้วย การกระจายแผ่รังสีดังไป ซึ่งส่วนนี้ขึ้นอยู่กับผิวหน้าของฮาโนด, คุณสมบัติในธรรมชาติ และอาการร้อนของฮาโนดก่อนญาติให้ กำลังงานที่เสียไปในฮาโนดซึ่งยอมอนุญาตให้สำหรับหลอดชนิดหนึ่งๆ จะมากขึ้นในเมื่อเนื้อผิวของฮาโนดใหญ่ขึ้น การทำให้ฮาโนดเย็นยิ่งดีมากขึ้น อาการร้อนฮาโนดที่ยอมอนุญาตให้ก็ยิ่งสูงขึ้นตามด้วย ในหลอดที่ท่กำลังต่ำกำลังน้อยๆ และกำลังปานกลางนั้น ทำให้การกระจายแผ่ความร้อนออกจากฮาโนดให้ดีขึ้นด้วยวิธีทำฮาโนดให้เป็นสีดำ ในหลอดดังมียังมิได้ ออกแรงทำงาน ยอมให้อาการร้อนของฮาโนดที่สูงขึ้นจนร้อนมืดแดงได้ ส่วนในหลอดสูงที่ท่กำลังสูงๆ นั้นใช้วิธีทำฮาโนดเย็น ด้วยการใช้น้ำไหลผ่านสำหรับการหล่อเพื่อระบายความร้อน

ค. อิเล็กตรอนเชกกันดาร์

บรรดาอิเล็กตรอนที่ฝังตัวเข้าไปในโลหะของอาโนดได้ปะทะกับอิเล็กตรอนที่มีอยู่ภายในโลหะของคาโทด กระทำการเร่งส่งเสริมอาการเคลื่อนไหวแก่เหล่าอิเล็กตรอนที่อยู่ในโลหะของคาโทด ถ้าความเร็วของอิเล็กตรอนที่ฝังตัวเข้าไปในสูงกว่า ๓๐ โวลต์ แล้วจะทำให้ความเร็วของอิเล็กตรอนที่ตกปะทะโดยตรงบางส่วนสูงกว่าความเร็วปกติตัว ฉะนั้นเมื่ออิเล็กตรอนที่ว่ามีได้กะทบกะแทกกัน กับอิเล็กตรอนอื่นที่จะทำการขัดขวางหรือปิดทางเคลื่อนไหวแล้ว อิเล็กตรอนเหล่านั้นก็จะปลัดตัวหนีออกจากโลหะของอาโนด อิเล็กตรอนที่ปลัดตัวแยกออกมาจากโลหะเข้ามาในสุญญากาศโดยอาการดังกล่าวแล้วนี้ บัญญัติให้เรียกว่า “อิเล็กตรอนเชกกันดาร์” และตัวอาการที่ทำให้เกิดมีอิเล็กตรอนชนิดนี้ออกมาเรียกว่า “การอมชมนเชกกันดาร์” จำนวนของอิเล็กตรอนเชกกันดาร์ที่แยกตัวออกมาจะมีมากน้อยย่อมแล้วแต่ความเร็ว และทิศทางสัมพันธ์อยู่กับ อิเล็กตรอนที่ฝังตัวเข้าไปในอาโนด กระทำอยู่ อย่างไรดังจะยกตัวอย่างให้เห็นได้คือ จำนวนของอิเล็กตรอนเชกกันดาร์ที่แยกตัวปลัดออกมาจากโลหะของอาโนด ด้วยการถกชนกะทบจากอิเล็กตรอนไพรมารีในทางเฉียง หรือทางไกลเฉียงไปนั้นจะมีมากกว่าที่ถกชนด้วยอิเล็กตรอนที่ตกเข้าเป็นมุมฉาก อาการที่ปรากฏมีอิเล็กตรอนเชกกันดาร์เกิดขึ้นนี้จะสังเกตหรือตรวจได้ภายนอกหลอดตะเพาะแต่เมื่อหลอดนั้นม้อิเล็กโทรตเย็นเพิ่มขึ้น นอกจากอาโนดแล้วยังมีขั้วอีกหนึ่งขั้ว

โทรศัทพ์ ดังนั้นกริดของหนึ่งซึ่งมีกำลังดันไฟฟ้าสูงกว่ากำลังดันของอาโนด
จะเพาะในลักษณะที่แทนที่หลอดทรอนเซกชันคาร์ ซึ่งออกมาจากอาโนด
จะวิ่งเข้าไปสู่หลอดโทรศัทพ์ที่โปเตนเชียลสูง แล้ววัดหากระแสไฟในวงนี้ได้
อากรอนนั้นจะเห็นได้ดียิ่งขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับตอน ๗ อันกล่าวถึง
การแจกกระจายของกระแสไฟโดยการดับเปลี่ยนของหลอดทรอนเซกชันคาร์

๘. ความชันอิมิตชัน S_e และความต้านอิมิตชัน R_e

ก. ความชันอิมิตชัน

องของเส้นโค้ง

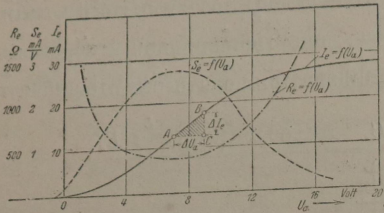
ความชันอิมิตชัน S_e เป็นความเอียงของเส้นโค้งลักษณะ $I_e = f(U_a)$
เป็นจำนวนของแอมแปร์ต่อโวลต์ เมื่อพิจารณาตามเส้นโค้งลักษณะ
 $I_e = f(U_a)$ ของรูป ๖๘ ซึ่งทำการทดลองวัดหามาได้ และประกอบ
รูปสามเหลี่ยมขึ้น จากรูปสามเหลี่ยม ABC นี้ เราจึงหาความชัน
อิมิตชันได้

$$S_e = \frac{\Delta I_e}{\Delta U_a} \quad (A/V) \quad \dots \quad (52)$$

คำนวณหาค่าของความชันอิมิตชันตามจุดต่างๆ ของเส้นโค้ง
อิมิตชัน แล้วนำผลเขียนลงเป็นเส้นโค้งจะได้เส้นโค้งซึ่งคือ $S_e = f(U_a)$
ดังในรูป ๖๘ ตามตัวอย่างที่กล่าวไว้ ได้ค่าของความชันอิมิตชันสูงสุด
ตรงกำลังดัน ๗ โวลต์ โดยที่เส้นโค้งลักษณะอิมิตชันจากตอนนี้เป็น
ต้นไป เริ่มเข้าสู่เขตที่กระแสไฟอิ่มตัวและความชันค่อยลดค่าต่ำลงจน

เป็นศูนย์ อันเป็นค่าของ $I_c = I_{cs}$ สำหรับภายในเขตไฟฟ้าประจุห้วงว่าง
คือสำหรับ

$$0 \ll U_a < U_{as}$$



รูป ๖๘ แสดงกระแสไฟ

อิมิชชัน I_c , ความชันอิมิชชัน S_c และความต้านอิมิชชัน R_c สัมพันธ์ ขึ้นอยู่กับกำลังต้นอาโนด U_a

หาค่าของความชัน S_c ได้โดยการดิฟเฟอเรนเชียล การของไฟฟ้าประจุห้วงว่าง (45a)

$$I_c = K \cdot U_a^{\frac{3}{2}} \quad (A)$$

$$S_c = \frac{d I_c}{d U_a} = K \cdot \frac{d U_a^{\frac{3}{2}}}{d U_a} \quad (A/V)$$

$$S_c = 1.5 \cdot K \cdot \sqrt{U_a} \quad (A/V) \quad \dots \quad (53)$$

สำหรับอิเล็กโทรดที่เป็นแผ่นขนานกัน ก็อาจใช้สมการนี้ได้ถ้าใกล้เคียงกับหลอดที่เผาคาโทดโดยวิธีอ้อม โดยหาค่าของตัวประจำ K จาก (46)

$$2,34 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{F}{a_2} = K \quad (A/V^{\frac{3}{2}})$$

$$S_c = 1.5 \cdot 2,34 \cdot 10^{-6} = \frac{F}{a^2} \sqrt{U_a} \quad A/V$$

$$S_c = 3,5 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{F}{a^2} \sqrt{U_a} \quad (A/V) \quad \dots \quad (53a)$$

ในทันที F เป็นพื้นที่ผิวของอาโนดอันต่ำแดงผลคิดเป็นตารางเซนติเมตร และ a เป็นระยะห่างระหว่างอาโนดกับคาโทดเป็นเซนติเมตร สำหรับ

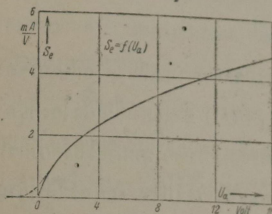
อเล็กโทรดที่เป็นรูปกระบอกจะหาค่าของความชันแห่งเส้นโค้งลักษณะของ
ไฟฟ้าประจุห้วงว่างจาก (53) กับ (46a) ได้

$$S_c = 1.5 \cdot K \sqrt{U_a} \quad (A/V)$$

$$S_c = 1.5 \cdot 14.7 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{l}{a} \cdot \sqrt{U_a} \quad (A/V)$$

$$S_c = 22 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{l}{a} \cdot \sqrt{U_a} \quad (A/V) \quad \dots \quad (53b)$$

ซึ่ง l เป็น ส่วนยาว ดำแดง ผลของไส้ หลอด (คาโทด) เป็น เซนติเมตร
 a เป็นรัศมีของฮาโนทรูปกระบอกเป็นเซนติเมตร



ในเขตไฟฟ้าประจุห้วงว่าง
ความชันของ หลอด ขึ้นอยู่กับตัว
ประจุแห่งรูปร่าง ส่วนประกอบ
ที่สร้าง $\frac{F}{a^2}$, $\frac{l}{a}$ และระยะรัศมีของ
ก้างตันฮาโน

รูป ๒๕ แสดงรูปทางเดิน
ของเส้นลักษณะไฟฟ้าประจุ
ห้วงว่างที่คำนวณได้

สำหรับตัวอย่างที่ได้ยกมาแสดงคราว
ก่อน กล่าวถึงหลอดชนิดเอนคาโทดวิ
อ้อมโดยใช้ $K=0.8 \text{ mA/V}^{1.5}$ จาก (53)
เราหาความชันของเส้น โค้งลักษณะไฟฟ้า
ประจุห้วงว่างได้

$$S_c = 1.5 \cdot 0.8 \sqrt{U_a} = 1.2 \sqrt{U_a} \quad (mA/V) \quad \dots \quad (53c)$$

ค่าที่คำนวณได้แสดงทางเดินของเส้นโค้งให้เห็นได้ตามรูป ๒๕ อันเป็น
ผลของ $S_c = f(U_a)$ ซึ่งนับว่าสัมพันธ์ตามอาการของผลที่แท้จริงไป
จนถึงเขตของก้างตันฮาโนดอันมีค่าใกล้เคียงกับศูนย์

ข. ความต้านอิมิตันซ์

ความต้านอิมิตันซ์ R_e นี้เข้าใจกันว่าเป็นความเปลี่ยนแปลงของกำลังต้นอาโนดโดยการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟอิมิตันซ์ ฉะนั้นจากเส้นโค้งลักษณะของกระแสอิมิตันซ์ในรูป ๖๗ จึงหาความต้านอิมิตันซ์ได้จากสามเหลี่ยม $A B C$

$$R_e = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_e} \quad (A/V = \Omega) \quad \dots \quad (54)$$

คำนวณหาค่าความต้านอิมิตันซ์สำหรับจุดต่างๆ ในเส้นโค้งลักษณะของการอิมิตันซ์ จะได้ค่าของ $R_e = f(U_a)$ อันแสดงเป็นเส้นโค้งยกตัวในรูป ๖๗ เมื่อเปรียบเทียบกับกราฟวิเคราะห์ความหมายของความชันอิมิตันซ์ S_e (52) กับความต้านอิมิตันซ์ R_e (54) แล้วจะได้ความสัมพันธ์

$$S_e \cdot R_e = \frac{\Delta I_e}{\Delta U_a} \cdot \frac{\Delta U_a}{\Delta I_e} = 1$$

$$S_e \cdot R_e = 1 \quad \dots \dots \dots (55)$$

ตลอดไดโอดที่ได้อัตวามาแล้วในตอนต้นทั้งทางตำราและทางปฏิบัติในการวัด เราได้กฎอันเกี่ยวแก่กระแสไฟฟ้าอิมิตันซ์ ซึ่งมีสมการอันประกอบด้วยกำลัง $\frac{3}{2}$ อยู่ด้วย กำลัง $\frac{3}{2}$ ที่ได้นี้ มีบัญญัติให้เรียกว่ากฎของไฟฟ้าประจุ

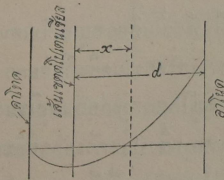
ห้วงว่าง (Law of space charge) ในเรื่อง E. B. Moullin* ได้
แสดงเหตุผลในทางฟิสิกส์ประกอบให้เห็นการที่ได้นำแหล่งสุรชนมาตั้ง $\frac{3}{2}$
รวมอยู่ด้วยนั้นอีกลักษณะหนึ่ง เพิ่มพุดให้เข้าใจอาการของอิเล็กตรอน
ในเขตไฟฟ้าประจุห้วงว่างแจ่มแจ้งยิ่งขึ้น ทั้งนี้โดยอาศัยหลักความคิด
นักในทางฟิสิกส์เป็นมุต แล้วนำวิชานวนแยกแยะเหตุผลพิสูจน์แจ้งออก
ให้เห็น คือกล่าวว่

“ กระแสไฟอาโนดในหลอดไดโอดเป็นฟังก์ชันเกี่ยวข้องกับ ไปเคน
เชย์ดท์อาโนด ” และตามเหตุผลอนัน กระแสไฟอาโนดจึงมีน้อยกว่า
อัตราของอาการอิมีชันจากคาโทด ซึ่งขึ้นอยู่กับตรงก่อนหน้าของ
คาโทด เนื่องจาก บรรดาอิเล็กตรอนทั้งหลายซึ่งปลุกตัวแยกออกมา
จากคาโทดด้วยความเร็วอันหนึ่งเพื่อจะบินเข้าไปสู่อานโนดที่เป็นบวก ไม่
สามารถจะไปถึงอานโนดได้ทั้งหมด เรื่องนี้เกิดจากสนามไฟฟ้าที่คาโทด
จัดต้องมีอาการกลับบรรจบมายังคาโทดโดยตรง และโดยที่จะต้องมี
บริเวณรอบ ๆ คาโทดซึ่งมีสนามเป็นศูนย์ บริเวณอันนี้ตามปกติเรียกกัน
ว่าเส้นเขตต์ (Barrier) บริเวณระหว่างเส้นเขตต์กับ คาโทดนั้น สนาม
ไฟฟ้าเดินเข้าสู่คาโทด และบริเวณระหว่างเส้นเขตต์กับอานโนดนั้น สนาม
ไฟฟ้าเดินเข้าสู่อานโนด ตรงเส้นเขตต์นี้มีอิเล็กตรอนบางส่วนที่จะบินเข้าไป
หาอานโนดถูกห้ามไม่ให้ยกตัวก่อนจะถึงเส้นเขตต์เล็กน้อย อิเล็กตรอน
พวกนั้นบนวกกลับคืนไปสู่คาโทดด้วยความเร็วเมื่อถึงคาโทดอย่างเดียวกัน

* Wireless Engineer Number 163 Volume XIV. 1937

กับความเร็วเมื่อมันออกจากคาโทด ส่วนอิเล็กตรอนอีกพวกหนึ่งมันไปถึงเส้นเขตต์ แล้วมันผ่านเขตต์นั้นต่อไปจนถึงอานอด เราขอสมมติว่าอิเล็กตรอนที่ผ่านเส้นแบ่งเขตต์นั้นผ่านไปด้วยความเร็วศูนย์

คราวนี้พิจารณาถึงอิเล็กโทรตเป็นแผ่นแบนและออร์บิทของโคออร์ดิเนตอยู่ในพหุของเส้นเขตต์ (รูป ๗๐) ในที่นี้ถือเสียว่าค่าบดของเส้นเขตต์ไม่รู้ว่าอยู่ที่ใด



รูป ๗๐ แสดงเส้นไปเทนเชิลระหว่างคาโทดกับอานอดของหลอดโคออด

เมื่อคิดถึงกำลังแรงของไฟฟ้า P ใน

ระยะทาง x จากเส้นเขตต์โดยกำหนดว่าแรงไฟฟ้าที่เส้นเขตต์เป็นศูนย์แล้ว ตามทฤษฎีของเกาส์ (Gauss' Theorem)

ปรากฏว่า P เท่ากับ 4 เท่าคูณด้วยจำนวนไฟฟ้าประจุอันสถิตย์อยู่ระหว่างหน่วยเนื้อที่ของ x กับพหุของเส้นเขตต์ การแจก

กระจายของไฟฟ้าประจุใน x นั้นไม่เป็นตัวเป็นตนและในบางจุดมันก็ไม่เป็นทวิภาค

กำหนดให้กระแสไฟอานอดคือหน่วยเนื้อที่ของอิเล็กโทรตเป็น I

และให้ t เป็นระยะเวลาที่อิเล็กตรอนทุก ๆ ตัวเดินผ่านจากเส้นเขตต์ไปถึงพหุ x โดยผ่านเส้นเขตต์นั้นไปด้วยความเร็วเป็นศูนย์ ในระหว่างเวลาที่อิเล็กตรอนตัวใดตัวหนึ่งที่กำหนดจะไปถึงพหุ x ได้นั้น อิเล็กตรอนตัวอื่น ๆ ที่มีไฟฟ้าประจุอยู่ทั้งหมดเป็น It จะเดินข้ามเส้นเขตต์ไป เมื่อเป็นเช่นนั้นไฟฟ้าประจุจะต้องอยู่ ณ ค่าบดใดค่าบดหนึ่งข้างหลังอิเล็กตรอนที่กำหนด

และเหตุนี้เองกำลังไฟฟ้าที่กระทำแก่อิเล็กตรอนจึงเป็นปฏิกิริยากับ $4\pi I t$.
เมื่อเขียนสมการแห่งการเคลื่อนที่ของจะได้

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = q P \text{ เมื่อ } q \text{ เป็นไฟฟ้าประจุของอิเล็กตรอนตัวหนึ่ง}$$

$$= 4\pi q I t$$

$$\therefore \frac{d^2 x}{dt^2} = B I t, \quad \text{เมื่อ } B = \frac{4\pi q}{m} \dots (a)$$

เมื่ออินทิเกรตสมการ (a) แล้วจะได้

$$\frac{dx}{dt} = \frac{B I t^2}{2}, \quad \dots (b)$$

โดยที่ตามโจทย์กำหนดมาแล้ว ความเร็วต้นเป็นศูนย์เมื่ออินทิเกรต (b) อีกครั้งหนึ่ง

$$\therefore x = \frac{B I t^3}{6} \dots (c)$$

สมมติให้ V เป็นโปเทนเชียลและ v เป็นความเร็วในพจน์ x แล้ว

$$\frac{1}{2} m v^2 = q V \quad \text{โดยที่ } q = \frac{m B}{4\pi}$$

หรือ

$$V = \frac{1}{2} m \frac{v^2}{q} = \frac{1}{2} m v^2 \cdot \frac{4\pi}{m B} = \frac{2\pi}{B} v^3$$

$$\text{โดยที่ } \frac{dx}{dt} = v = \frac{B I t^2}{2}$$

$$V = \frac{2\pi}{B} v^3 = \frac{2\pi}{B} \cdot \left(\frac{B I t^2}{2} \right)^3$$

$$V = \frac{2\pi}{B} \cdot \frac{B^3 \cdot I^3 t^6}{4} = \frac{\pi B}{2} I^3 t^4$$

$$V = v \quad \dots$$

โดยที่จาก (c) $t^3 = \frac{6x}{BI}$

$$t = \frac{(6x)^{\frac{1}{3}}}{(BI)^{\frac{1}{3}}}$$

$$t^4 = \frac{(6x)^{\frac{4}{3}}}{(BI)^{\frac{4}{3}}}$$

ดังนั้น $V = \frac{\pi B}{4} \cdot I^2 \cdot \frac{(6x)^{\frac{4}{3}}}{(BI)^{\frac{4}{3}}}$

$$V = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{I^{\frac{2}{3}}}{B^{\frac{1}{3}}} (6x)^{\frac{4}{3}}$$

$$I^{\frac{2}{3}} = V \cdot \frac{2}{\pi} \cdot B^{\frac{1}{3}} \cdot \frac{1}{(6x)^{\frac{4}{3}}}$$

$$I = V^{\frac{3}{2}} \cdot \left(\frac{2}{\pi} \right)^{\frac{3}{2}} \cdot B^{\left(\frac{1}{3} \cdot \frac{3}{2} \right)} \cdot \frac{1}{(6x)^{\frac{4}{3} \cdot \frac{3}{2}}}$$

$$= V^{\frac{3}{2}} \cdot \frac{2}{\pi} \cdot \frac{2^{\frac{1}{2}}}{\pi^{\frac{1}{2}}} \cdot B^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{1}{(6x)^2}$$

$$= \frac{1}{\pi} \cdot 2 \cdot \left(\frac{2B}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{1}{36x^2} \cdot V^{\frac{3}{2}}$$

$$= \frac{1}{\pi} \cdot 2 \cdot 2 \cdot \frac{2^{\frac{1}{2}} q^{\frac{1}{2}}}{m^{\frac{1}{2}}} \cdot \frac{1}{36x^2} \cdot V^{\frac{3}{2}}$$

$$I = \frac{1}{9\pi} \cdot \left(\frac{2q}{m} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{V^{\frac{3}{2}}}{x^2}$$

$$I = \frac{1}{9\pi} \left(\frac{2q}{m} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{V^{\frac{3}{2}}}{x^2}$$

เมื่อได้ V_a เป็น โปเทนเชียลที่อาโนดอันสัมพันธ์กับเส้นเรขาค์ และ d เป็น ระยะห่างจากเส้นเรขาค์ถึงอาโนด จะได้

$$I = \frac{1}{9\pi} \cdot \left(\frac{2q}{m} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{V_a^{\frac{3}{2}}}{d^2} \dots \dots \dots (d)$$

ในผลที่ได้มานี้ ค่าของอินทิเกรชันเป็นค่าโดยตรงและคงเหี้ยมดเป็นเส้น ตรงต่อไป ในเรื่องวัตถุเร่งทางต้นที่เร่งมาแต่ยังไม่ต้องการให้จับจำจน ข้นใจเลย เป็นแต่เพียงจะให้รู้ ศึกษาให้เห็นจิตใจที่ไม่มัวอะไรผิดแผก ออกไปจากหลักทางฟิสิกส์ที่เร่งด้วยสมการ $P = 4\pi Q$ เท่านั้น และ เวลามาผ่าน (Transit time) ของอิเล็กตรอน ปรากฏว่าเป็นส่วนที่ทำให้ จากสมการ (c)

$$x = \frac{BI t^3}{6}; t^3 = \frac{6x}{BI}$$

แต่ $x = d$

$$\therefore t^3 = \frac{6d}{BI} \text{ หรือ } T^3 = \frac{6d}{BI}$$

$$T = \left(\frac{6d}{BI} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$\text{แต่จาก (d)} I = \frac{1}{\pi} \cdot 2 \cdot \left(\frac{2B}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{1}{36d^2} \cdot V^{\frac{3}{2}}$$

$$T = \left[\frac{6d}{\frac{1}{\pi} \cdot 2 \cdot \left(\frac{2B}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{1}{36d} \cdot V^{\frac{3}{2}}} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$T = \left[\frac{6^{\frac{1}{3}} \cdot d^{\frac{1}{3}} \cdot \pi^{\frac{1}{2}} \cdot \pi}{2 \cdot 2^{\frac{1}{2}} \cdot B^{\frac{1}{2}} \cdot V^{\frac{3}{2}} \cdot B} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$\text{แต่ } B^{\frac{1}{2}} = \frac{2\pi^{\frac{1}{2}} q^{\frac{1}{2}}}{m^{\frac{1}{2}}}$$

$$T = \frac{6 \cdot d \cdot \pi^{\frac{1}{2}}}{2^{\frac{1}{2}} \cdot B^{\frac{1}{2}} \cdot V^{\frac{1}{2}}}$$

$$T = \frac{6 \cdot d \cdot \pi^{\frac{1}{2}}}{2^{\frac{1}{2}} \cdot 2 \cdot \frac{\pi^{\frac{1}{2}} \cdot q^{\frac{1}{2}}}{m^{\frac{1}{2}}} \cdot V^{\frac{1}{2}}} = 3 \frac{m^{\frac{1}{2}}}{2^{\frac{1}{2}} q^{\frac{1}{2}}} \cdot \frac{d}{V^{\frac{1}{2}}}$$

$$T = 3 \sqrt{\frac{m}{2 \cdot q}} \cdot \frac{d}{V^{\frac{1}{2}}} \dots \dots \dots (e)$$

ถ้าบรรดาอิเล็กตรอนซึ่งผ่านเส้นแบ่งเขตนี้ไปนั้น กำหนดว่ามีความเร็ว
 U_1 ถ้าจะไม่มีคความยุ่งยากแต่อย่างใด

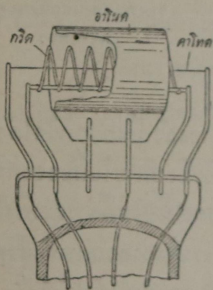
(e)

บทที่ ๗

หลอดมีกริดเดี่ยว (โทรโอด)

๑. หลักทั่วไป

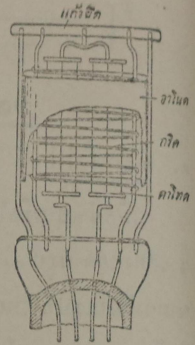
เมื่อนำเอากิริตไปใส่ไว้ในระหว่างคาโทดกับแอโนดภายในหลอด ซึ่งแสดงอยู่ตามรูป ๗๑ หรือรูป ๗๒ แล้วเอากำดั่งไฟฟ้าต่อเข้ากับกริดตามวงไฟในรูปทำให้สามารถบังเกิดกระแสไฟฟ้ามืดขึ้นของหลอดได้โดยกำดั่งแรงของกระแสไฟฟ้ามืด I_g ณ ที่นั้นได้ขึ้นอยู่เฉพาะกับกำดั่งดันแอโนด U_a หรือแก่กำดั่งดันกริด U_g อย่างเดียวกัน แต่ขึ้นอยู่กับ



รูป ๗๑ แสดงการวางอิเล็กโทรดรูปประกอบของหลอดอิเล็กตรอนที่มีกริดเดี่ยว

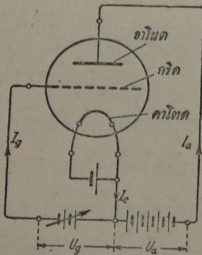
กำดั่งดันทั้งสองนี้ สำหรับกระแสไฟฟ้ามืดขึ้นขณะหนึ่งคงตกอยู่ในอิทธิพลของกำดั่งดันผลดัพ (Resulting voltage) ขึ้นอยู่ในพหุของกริดเกิดขาด คือ กำดั่งดันอนนได้รับผลมาจากกำดั่งดันที่กระทำต่อกริด U_g กับส่วนหนึ่งของกำดั่งดันที่แอโนด U_a ประกอบเข้าด้วยกัน กำดั่งดันผลดัพจำแนกผลดัพที่กระทำอยู่ในพหุของกริดนับบัญญัติให้เรียกตามหลักของท่านศาสตราจารย์ บารุคเฮาเซน (Barkhausen) ว่า "กำดั่งดันบังคับ" (Steuerspannung) ถ้า

จะเทียบกับภาษาอังกฤษก็คือว่า “Control voltage” หรือ ตามหลัก ของ ซอตตคย (Schottky) ว่า ไป เชน เชียด ตำแดง ผด (Effective potential) ในหลอดที่มีกริดนี้ สำหรับการคำนวณกระแสไฟอิมิชัน อาจคิดเอาว่าตรงตำบดที่กริดอยู่นั้นเป็นอาโนดสัมมคติแทนชั้นได้ และอาโนดสัมมคติแทนชั้นนั้นก่าตั้งดินอาโนดเป็นก่าตั้งดินบงกับ U_{st} กระทำอยู่ หลอดที่มีกริดนี้ จึงอาจถือกลับเอาเป็นหลอดปราศจากกริด ซึ่ง ทำให้ใช้กฎต่าง ๆ ที่กล่าวในตอน ๖ อันว่าด้วยหลอดไดโอดกับหลอดที่มีกริดได้



รูป ๖๒ แสดงให้เห็นการวาง อิเล็กโทรดรูปอิลิพส์ของหลอดอิเล็กตรอนที่มีกริดตัว

๒. ก่าตั้งดินบงกับ



รูป ๖๓ แสดงวงจรของหลอดที่มีกริดตัว

ตามหลักที่กล่าวแล้วเป็นอันเข้าใจได้ว่า ก่าตั้งดินบงกับ U_{st} ที่อยู่ภายในพื้นของกริดเป็นก่าตั้งดินตำแดงผดเมื่อไม่พิจารณาถึงไฟฟ้าประจุห้วงว่าง เราจึงคำนวณหา ก่าตั้งดินบงกับ U_{st} ตามกฎของสนามไฟฟ้าได้

เรายังจำกัคดีต่อไปอีกว่า อิเล็กโทรดของหลอดเป็นแผ่นแบนและการกระจายสนามไฟฟ้าของกริดนั้นไม่ค่านึงถึง ก็จะได้ผลของการแบ่งกระจายแห่งสนามไฟฟ้าดังในรูป ๖๔

โดยอาศัยสมการอันเกี่ยวข้องกับกำลังไฟฟ้ากระทำแก่คอนเดนเซอร์

$$U = H_e \cdot d = \frac{Q \cdot d}{\epsilon_0 \cdot \epsilon \cdot F}$$

เป็นหลัก จะได้ไฟฟ้าประจุซึ่งบังเกิดขึ้นจากกริดไปยังคาโทดเป็น

$$Q_{gk} = U_g \cdot \left(\frac{\epsilon_0 \cdot F_g}{b} \right) \quad \dots \dots \dots (57)$$

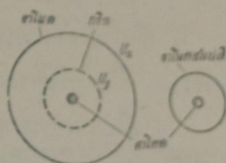
การที่ได้สมการนี้มา ไม่มีอะไรประกอบอยู่

ดังหลักกล่าวอย่างมานั้น เป็นเพราะตัว

อันเป็นค่าประจำของกำลังไฟฟ้าในหลอด

สูญญากาศซึ่งกำหนดค่าให้เป็น 1 จึงไม่

จำเป็นที่จะต้องแสดงอีกต่อไป



รูป ๗๔ แสดงอาการเปลี่ยนแปลง
หลอดที่มีกริดกับหลอดที่ไม่มีกริด

ใน (57) F_g เป็นเนื้อที่ผิวของกริดคิดเป็นตารางเซนติเมตร

b เป็นระยะห่างระหว่างกริดกับคาโทดเป็นเซนติเมตร

U_g เป็นกำลังดันที่กระทำอยู่ระหว่างกริดกับคาโทด และ

$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{1}{9 \cdot 10^{11}}$ อันเป็นค่าเกณฑ์ประจำของการวัด

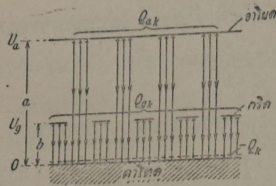
ส่วนที่อยู่ภายในวงเล็บของสมการ (57) แสดงตัวเป็นแคปซิติวิตี C_{gk}

ระหว่างกริดกับคาโทด ซึ่งตามหลักจะได้ไฟฟ้าประจุที่ถูกชักนำให้ขึ้น

จากอาโนดไปยังคาโทดเป็น

$$Q_{ak} = U_a \cdot \left(\frac{\epsilon_0 (F_a - F_g)}{a} \right) \quad \dots \dots \dots (57)$$

ซึ่งส่วนที่อยู่ภายในวงเล็บเป็นค่าของแคปซิติวิตี C_{ak} ระหว่างอาโนดกับ
คาโทด



รูป ๑๕ แสดงผลของค่าใกล้เคียงใช้ใน
การคำนวณกำลังต้นบังคับ (U_{st})
และตัวรับกริยาของหลอดท่อเหล็ก
ไทรคแบน

U_a เป็นกำลังต้นที่กระทำอยู่ระหว่างอาโนดกับคาโทด
 F_a และ F_g เป็นเนื้อผิวของอาโนดและกริดคิดเป็นตารางเซนติเมตร
 a เป็นระยะห่างระหว่างอาโนดกับคาโทดคิดเป็นเซนติเมตร
 ไฟฟ้าประจุทั้งหมดที่บังเกิดขึ้นที่คาโทด (เปรียบรูป ๑๕)

$$Q_K = Q_{gK} + Q_{aK} \quad \dots \quad (58)$$

หรือด้วย (56) กับ (57)

$$Q_K = U_g \cdot \left(\frac{\epsilon_o \cdot F_g}{b} \right) + U_a \cdot \left(\frac{\epsilon_o \cdot (F_a - F_g)}{a} \right) \quad (58a)$$

คราวนี้คิดว่า ไฟฟ้าประจุเป็นไฟฟ้าประจุของอาโนดที่สัมผัสแทน
 (รูป ๑๕) โดยอาการของกำลังต้น U_{st} กระทำให้มัน ซึ่งเรานึก
 เอาไว้ที่คาบของกริด ดังนั้น

$$Q_K = U_{st} \cdot \left(\frac{\epsilon_o - F'_a}{b} \right) \quad \dots \quad (59)$$

F'_a เป็นเนื้อผิวของอาโนดสัมผัสคิดเป็นตารางเซนติเมตร

b เป็นระยะห่างจากคาโทดคิดเป็นเซนติเมตร

ส่วนที่อยู่ภายในวงเล็บเป็นแคปซิเตอร์ของอาโนดสัมผัสที่ประกอบ
 อยู่กับคาโทด เมื่อนำค่าของ (58a) ใส่ลงใน (59) จะได้

$$U_g \cdot \frac{\epsilon_o \cdot F_g}{b} + U_a \cdot \frac{\epsilon_o (F_a - F_g)}{a} = U_{st} \cdot \left(\frac{\epsilon_o \cdot F_a'}{b} \right)$$

$$U_{st} \cdot \left(\frac{\epsilon_o \cdot F_a'}{b} \right) = U_g \cdot \frac{\epsilon_o \cdot F_g}{b} + U_a \cdot \frac{\epsilon_o (F_a - F_g)}{a} \quad (60)$$

จากสมการนี้ จะได้ค่าของกำลังดันบังคับ

$$U_{st} = U_g \cdot \frac{\epsilon_o \cdot F_g}{b} \cdot \frac{b}{\epsilon_o \cdot F_a'} + U_a \cdot \frac{\epsilon_o (F_a - F_g)}{a} \cdot \frac{b}{\epsilon_o \cdot F_a'}$$

$$U_{st} = U_g \cdot \frac{F_g}{F_a'} + U_a \cdot \left(\frac{F_a - F_g}{F_a'} \right) \cdot \frac{b}{a} \quad \dots \dots \dots (61)$$

โดยที่กำลังดันกริด U_g ตรงค่าบดทึบของกริดซึ่งคิดเข้าว่าเป็นที่ของฮาโนด
สัมพันธ์ด้วยขนาดโตเต็มที่อันต้องมาจำแนกให้เกิดผล จึงต้องกำหนดค่า
ของแฟกเตอร์อื่นไม่แน่นอน $\frac{F_g}{F_a'}$ ให้เป็น 1 เสียในขั้นแรกก่อน ทั้งนี้เพื่อ
ให้การคำนวณหาค่าสะดวกขึ้น จากค่าสัมพันธ์อื่นใกล้เคียงกันทำให้เราหา
กำลังดันบังคับอันใกล้เคียงได้เป็น

$$U_{st} = U_g + U_a \cdot \left(\frac{F_a - F_g}{F_a'} \right) \cdot \frac{b}{a}$$

$$U_{st} = U_g + U_a \cdot D$$

(61a)

โดยที่แฟกเตอร์

$$D = \frac{F_a - F_g}{F_a'} \cdot \frac{b}{a} \quad \dots \dots \dots (62)$$

ตามหลักของบาร์คเฮาเซนบัญญัติให้เรียกว่า “ดาร์ชกริฟ” (Durch-

griff) ตาม (61a) เห็นได้ว่าการัดันบังคับที่ลำแสงผล U_{st} อันกระทำ
ที่อาโนดสัมพันธ์กันจนออกเป็นการัดันกริด U_g และจำนวนย่อยของการัดัน
กริดอาโนด $D \cdot U_a$

๓. ตัวรุกริฟ (Darebgriff)

ตามที่ปรากฏมาแล้ว ตัวรุกริฟเป็นส่วนที่อากาศของการัดัน
อาโนดมาลำแสงต่อกริดให้บังเกิดผลขึ้น สำหรับหลอดที่มีอิเล็กโทรม
แผ่นแบนนั้น จะมีความของตัวรุกริฟโดยไม่คิดถึงอากาศกระจายของ
สนามไฟฟ้าเข้าด้วย จากการ (62) คือ

$$D = \frac{F_a - F_g}{F_a} \cdot \frac{b}{a}$$

จากส่วนสัมพันธ์กันข้างบน F_a' เป็นเนื้อที่ผิวของอาโนดสัมพันธ์กัน
และเนื้อที่ของหนึ่งมีได้แจออกมาชัดเจนว่าเป็นเท่าใด ยิ่งก็ต้องกำหนด
ต่อไปอีก ในการกำหนดค่าของ F_a' ข้างต้น ซึ่ง ณ ที่ F_a' เป็นค่าทาง
ฟิสิกส์ได้แก่เฉพาะเนื้อที่ทั้งหมดในส่วนสูงของกริดเท่านั้น คือว่า F_a' มี
ค่าใกล้เคียงเท่ากับเนื้อที่ผิวของอาโนด F_a เมื่อเป็นเช่นนั้นจะได้ค่าของ
ตัวรุกริฟในหลอดที่มีอิเล็กโทรมแผ่นแบนจาก (62) โดยใกล้เคียง

$$D \approx \frac{F_a - F_g}{F_a} \cdot \frac{b}{a} \quad \dots \dots \dots (62a)$$

สมการนี้แสดงค่าอันใกล้เคียงอย่างหยาบ ๆ เพราะเหตุว่าทางเดิน
ของสนามไฟฟ้าอันแท้จริงในอิเล็กโทรมแผ่นแบนนั้นหาได้สม่ำเสมอทั่วกัน
ตลอดไม่ ที่นำมาแสดงในชั้นต้นก่อนนี้เพื่อเป็นเครื่องชี้ให้เห็นความสำคัญ
ทางฟิสิกส์ของตัวรุกริฟว่าเป็นอย่างไร จากความสัมพันธ์ของสมการ

นี้เองจึงเป็นที่เข้าใจได้ว่า ศิวกริพนธ์ขึ้นอยู่กับความดันพื้นหรือ อัตราส่วนของช่อง $(F_a - F_o)/F_a$ และขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของระยะห่าง b/a (เปรียบเทียบกับรูป ๑๕) ดังตัวอย่าง เมื่อทำให้ $F_a = F_o$ คือทำให้กริดกลายแบนเป็นโลหะธรรมดาเสียโดยไม่มีช่องคาบเกี่ยว ก็จะได้ค่าของ D ตามสมการ (62a) $D = 0$ ซึ่งนับว่าสมจริงตามความชำนาญที่ได้จากทางใช้การโดยสันนิษฐาน ในลักษณะตรงข้าม คือโดยการทำให้เนื้อที่ผิวของกริดสูญสิ้นไป ($F_o \approx 0$) ก็จะทำให้อัตราส่วนความดันของช่อง $(F_a - F_o)/F_a \approx 1$ เมื่อเป็นเช่นนั้น ศิวกริพนธ์จะขึ้นอยู่กับอัตราส่วน b/a

การคำนวณศิวกริพนธ์ที่ถูกต้องกว่าที่กล่าวมาแต่นั้น W. Schottky ได้เคยแสดงไว้ในหนังสือรายเดือน Arch Elektrotechnik 8 (1919) 1 und 299 ซึ่งได้ค่าของศิวกริพนธ์ในหลอดที่มีอิเล็กโทรดเป็นแผ่นแบน

$$D = \frac{g}{2 \pi (a - b)} \cdot \ln \left(\frac{g}{\pi \cdot d} \right) \dots (63)$$

และสมการนี้ใช้ได้แต่เฉพาะภายในเขตที่กำหนดว่า

$$\frac{d}{2} \ll g \ll (a - b) \quad (\text{เปรียบรูป ๑๖})$$

ส่วน (60) บารุคเฮาเซนเขียนอีกท่านหนึ่ง คือ

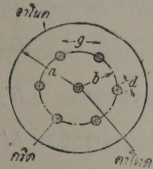
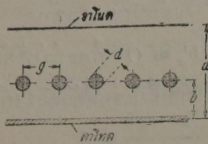
$$U_{st} \cdot C_{st} = U_o \cdot C_o + U_a \cdot C_a$$

และจากนั้นได้กำลังคืบบังคับ

$$U_{st} = \frac{C_a}{C_{st}} \left(U_g + \frac{C_a}{C_g} \cdot U_a \right) \approx U_g + \frac{C_a}{C_g} \cdot U_a$$

เมื่อแทน $C_g/C_{st} \approx 1$ และ $C_a/C_g = D$ ได้ลงในข้างบนนี้แล้วจะได้

$$U_{st} = U_g + D \cdot U_a$$



รูป ๗๖ แสดงขนาดสำหรับใช้ในกรณี
คำนวณตัวจุลกริฟของอิเล็กโทรด
แผ่นแบน

รูป ๗๗ แสดงขนาดสำหรับใช้ใน
การคำนวณตัวจุลกริฟของอิเล็กโทรด
รูปกระบอกอันมีกริดเป็นเส้นกลม

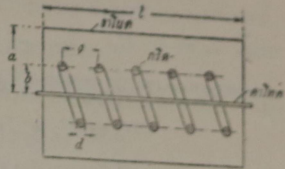
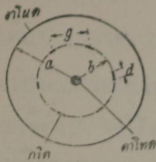
การคำนวณค่าของตัวจุลกริฟนั้นตามปกติก็คำนวณตามวิธีเช่นและสม่ำเสมอ
ตามทักค่าใน (62a)

สำหรับอิเล็กโทรดที่เป็นรูปกระบอกดังในรูป ๗๗ และ ๗๘ กับ ๗๙
ข้อที่คำนวณด้วยสูตร

$$D = \frac{g}{2 \pi b} \cdot \frac{\ln \left(\frac{g}{\pi d} \right)}{\ln \left(\frac{a}{b} \right)} \quad \dots \dots \dots (64)$$

สูตรข้างบนนี้ใช้ได้ภายในเขตจำกัดเมื่อ

$$\frac{d}{2} \ll g \ll (a - b)$$



รูป ๗๘ แสดงขนาดสำหรับใช้ในการคำนวณตัวรูปของอิเล็กโทรดรูปกระบอกที่มีกั๊ตเป็นเส้นแบน

รูป ๗๙ แสดงขนาดสำหรับใช้ในการคำนวณตัวรูปของอิเล็กโทรดรูปกระบอกที่มีกั๊ตเป็นวงกลม

๔. กระแสไฟอิมิชัน I_e

โดยวิธีสมมติให้เอาโน้ตชนแทนค่าบดที่ของกั๊ตและมีค่าดังต้นบังคับ U_{st} กระทำต่อเอาโน้ตสมมติแทน จึงหวนกลับไปทำการคำนวณกระแสไฟอิมิชันของหลอดอันมีกั๊ตตามหลักของหลอดที่ไม่มีกั๊ตได้ในทันทีจะจำแนกได้เป็นสองกรณีของหลอดออกเป็นสามตอนได้ อีก คือเป็น

- ตอนกระแสไฟเริ่มต้น
- ตอนกระแสไฟในเขตไฟฟ้าประจุห้วงว่าง
- ตอนกระแสไฟอิ่มตัว

สำหรับตอนที่เรากำลังเป็นพิเศษว่าตอนอันที่ ๑ คือ ตอนกระแสไฟในเขตไฟฟ้าประจุห้วงว่าง ซึ่งเราจะได้กระแสไฟอิมิชันโดยอาศัยการช่วยเหลืจากกำลังต้นบังคับ U_{st} ของกฎไฟฟ้าประจุห้วงว่าง (45a)

$$I_e = K \cdot U_a^{\frac{1}{2}}$$

ฉะนั้น $I_c = K \cdot U_{st}^{\frac{3}{2}} \dots \dots (65)$

นำค่าของกำลังดันบังคับจาก (61a)

$$U_{st} = U_g + D \cdot U_a$$

ใส่ลงใน (65) จะได้กฎของไฟฟ้าประจุห้วงว่างของหลอดที่มกริด

$$I_c = K \cdot U_{st}^{\frac{3}{2}} = K (U_g + D \cdot U_a)^{\frac{3}{2}} A$$

$$I_c = K (U_g + D \cdot U_a)^{\frac{3}{2}}$$

$$A \dots (65a)$$

สมการนี้จะต้องมีเขตจำกัดในทางฟิสิกส์เท่านั้นเหมือนกับ (45a) คือว่าระยะที่ใช้ได้ถูกคั่นกัน จำกัดด้วยกำลังดันบังคับ ซึ่งอยู่ในระหว่างศูนย์กับกำลังดันอิ่มตัว ซึ่งถูกจำกัดโดย

$$0 \ll U_{st} < U_{satt} \dots \dots (66)$$

สำหรับขนาดของกระแสฟิสิกส์ I_c นั้นเป็นอย่างเดียวกัน ไม่ว่ากำลังดันบังคับกำลังหนึ่ง ๆ จาก U_g และ $D \cdot U_a$ จะรวมเข้าด้วยกันเป็นอย่างไร ดังที่เป็นเครื่องขยายสำหรับ I_c นั้นก็คือเป็นแค่เพียงผลบวกของ U_g และ $D \cdot U_a$ เท่านั้น

ความสำคัญของตัวประจำ K นั้นถือเอาที่ได้จากสมการ (46) กับ (46a) ตามลำดับเป็นใหญ่ เนื้อผิวหน้าและระยะห่างคือ F และ a

ตามลำดับของสมการนี้ ภาษีเกณฑ์จากอาโนดสมมติแทน คือหมายถึง
ตัวอาโนดเต็มตามขนาด ณ ตรงตำแหน่งของกริด

สำหรับอิเล็กโทรมอดแผ่นแบน ซึ่งจำกัดจำนวนกับหลอดชนิดแค
คาโทดโดยวิธีอื่น จะได้อำนาจของตัวประจำ

$$K = 2,34 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{F'_a}{b^2} (A/V^{1.5}) \dots \dots \dots (67)$$

ซึ่ง F'_a เป็นเนื้อทั้งหมดของแผ่นกริด (คิดเอาว่าตรงตำแหน่ง
ของกริดมีอาโนดซึ่งเนื้อของผิวเป็น F'_a)

b เป็นระยะห่างจากคาโทดคิดเป็นเซนติเมตร

สำหรับอิเล็กโทรมอดรูปกระบอกจะได้อำนาจของ K จาก (46a) คือ

$$K = 14,7 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{l}{b} (A/V^{1.5}) \therefore \dots \dots \dots (67a)$$

ณ ทน

l เป็นส่วนยาวอันต่ำแดงผลของคาโทด

b เป็นรัศมีของกริดเป็นเซนติเมตร (เปรียบเทียบกับ รูป ๗๗
๗๗ และ ๗๘)

ตัวประจำที่ปรากฏมาแล้วนี้ ยังใช้ได้กับอิเล็กโทรมอดชนิดเป็นรูปอัลฟ
ซึ่งเส้นลวดได้หลุดออกไปจากมาหลายรอบ (รูป ๗๒) ในทุก ๆ ลักษณะ
สมการ (67a) นี้ใช้ได้ภายในเขตระยะจำกัดว่ารัศมีของกริดอย่างน้อย
จะต้องเป็นสิบเท่าของรัศมีได้หลุด (คาโทด) .

๕. เส้นโค้งลักษณะไฟฟ้าประจุห้วงว่าง

เส้นโค้งลักษณะไฟฟ้าประจุห้วงว่างนี้ เข้าใจกันว่าเป็นอาการแสดงของกระแสไฟอิมพัลส์ I_c อันสัมพันธ์กันอยู่กับ กำลังดันกริด U_g โดยการรักษาให้กำลังดันของอาโนดมีค่าประจำ หรือด้วยอาการตรงข้าม I_c อันสัมพันธ์กันอยู่กับ กำลังดันอาโนด U_a ด้วยการรักษาให้กำลังดันของกริดประจำ เส้นโค้งเส้นแรกเราเรียกว่า “เส้นโค้งลักษณะของกริด” และเส้นโค้งเส้นที่สองเรียกว่า “เส้นโค้งลักษณะของอาโนด” ตัวอย่างของเส้นโค้งบอกลักษณะสองชนิดที่กล่าวมานี้ . จะได้แสดงให้เห็นต่อไปนี้ตามลำดับ

ก. เส้นโค้งลักษณะกริด $I_c = f(U_g)$ โดย U_a ประจำ

เราสมมติเอาว่า $K = 0,5 \cdot 10^{-3}$ และตัวรีซกริฟ $D = 0,1$ เป็นตัวอย่าง จะได้กระแสไฟอิมพัลส์ I_c ในเขตต์ไฟฟ้าประจุห้วงว่าง ตามกฎของไฟฟ้าประจุห้วงว่าง (65a)

$$I_c = K \cdot (U_g + D \cdot U_a)^{\frac{3}{2}} \quad (A) \dots (65a)$$

$$I_c = 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot (U_g + 0,1 \cdot U_a)^{\frac{3}{2}} \quad (A)$$

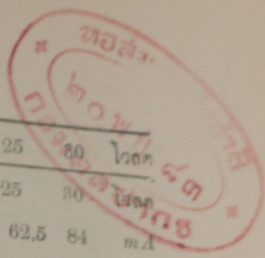
$$\text{หรือ} \quad I_c = 0,5 (U_g + 0,1 U_a)^{\frac{3}{2}} \quad (mA) \dots (68)$$

ในขั้นแรกกำหนดให้ค่าของกำลังดันอาโนด $U_a = 0$ จะได้

$$I_c = 0,5 \cdot (U_g)^{\frac{3}{2}} \quad \dots \dots \dots (68a)$$

จากสมการข้างบนนี้จะได้อีกต่าง ๆ ประกอบกันในตาราง

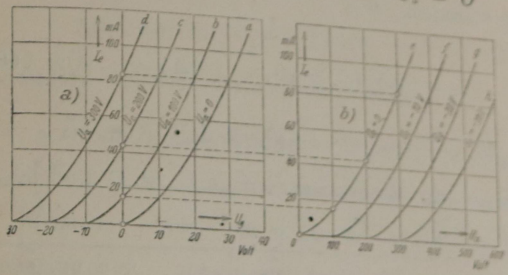
$$I_c = f(U_g) \quad \text{สำหรับ} \quad U_a = 0$$



ตารางที่

U_o	0	5	10	15	20	25	30	โวลต์
$U_{st} = U_o + 10$	0	5	10	15	20	25	30	โวลต์
I_c	0	5,6	15,8	29	44,8	62,5	84	mA

จากค่าเหล่านี้จะได้รูปของเส้นโค้ง a สำหรับ $U_a = 0$



รูป ๘๐

- a) เส้นลักษณะกริด $I_c = f(U_o)$ เมื่อ U_a ประจํา
- b) เส้นลักษณะอาโนด $I_c = f(U_a)$ เมื่อ U_o ประจํา

คราวนี้กำหนดให้ $U_a = 100$ โวลต์ จะได้จาก (68)

$$I_c = 0,5 \cdot (U_o + 10)^3 \quad (mA) \quad \dots \quad (68b)$$

คำนวณหาค่าของ $I_c = f(U_o)$ อีก จะได้ค่าของ

$$I_c = f(U_o) \quad \text{สำหรับ } U_a = 100 \text{ โวลต์}$$

U_o	-10	-5	0	+5	10	15	20	โวลต์
$U_{st} = U_o + 10$	0	5	10	15	20	25	30	โวลต์
I_c	0	5,6	15,8	29	44,8	62,5	84	mA

จะได้เส้นโค้ง b ตามรูป ๘๐

จากนี้จึงรู้ว่า เส้นลักษณะสำหรับ $U_a = 100$ โวลต์ (เส้นโค้ง b)
 อันต่างที่อยู่กับเส้นโค้งสำหรับ $U_a = 0$ (เส้นโค้ง a) ด้วยจำนวน
 10 โวลต์ คือ $D \cdot U_a$ โวลต์ ไปทางซ้าย สำหรับกำลังดันอาโนด $U_a = 200$
 โวลต์ จะได้ค่าตาม (68)

$$I_e = 0,5 \cdot (U_g + 20)^{\frac{3}{2}} \quad (mA) \quad \dots \quad (68c)$$

ตามผลที่ได้มานี้ ปรากฏว่า เส้นโค้งลักษณะ (เส้นโค้ง c) นี้
 เลื่อนตำแหน่งจากเส้นโค้งที่มีกำลังดันอาโนด $U_a = 0$ (เส้นโค้ง a)
 ไปทางซ้ายเป็นจำนวน $D \cdot U_a = 20$ โวลต์ กระแสไฟ I_e
 สำหรับ $U_g = -20$ โวลต์ มีค่าเป็นศูนย์ ในทำนองเดียวกัน
 เส้นลักษณะสำหรับ $U_a = 300$ โวลต์ (เส้นโค้ง d) ก็ขนานกัน
 กับเส้นโค้ง $U_a = 200$ โวลต์ เคลื่อนที่ไปทางซ้าย และขนานกัน
 กับเส้นโค้ง c

จากหมู่เส้นโค้งที่ปรากฏอยู่ในรูป ๘๐ รู้ได้ว่าตำแหน่งของเส้น
 ลักษณะ $I_e = f(U_g)$ จะเคลื่อนที่ไปทางซ้ายอันอยู่ในเขตที่
 กระแสไฟกริดเป็นลบมากขึ้นตามส่วนที่ก่อดึงดันของอาโนดสูงขึ้น

ในอากาศตรงข้าม หากว่าจำเป็นต้องให้เส้นลักษณะ $I_e = f(U_g)$
 ส่วนใหญ่อยู่ในซีกของเขตที่ก่อดึงดันกริดเป็นลบ ดังนั้นตอนที่เครื่องท่อก่อดึง
 (Amplifier) ต้องการอย่างยั่งยืน จึงจำเป็นจะต้องใช้กำลังดันอาโนดสูง

ข. เส้นโค้งลักษณะ $I_e = f(U_a)$ โดย U_g ประจำ

ด้วยการใช้ตัวอย่าง เช่นเดียวกันนี้ สมการ (68) ก็ใช้ได้ก็

$$I_e = 0,5 \cdot (U_g + 0,1 \cdot U_a)^{\frac{3}{2}} \quad \dots \quad (mA)$$

ในชั้นแรกขอเลือกเอา $U_g = 0$ ก่อน จะได้

$$I_e = 0,5 (0,1 \cdot U_a)^{\frac{3}{2}} \quad (mA) \quad \dots \quad (68a)$$

จากสมการนี้ จะได้ค่าของกระแสไฟสัณพัณรกับกำลังดัน

$$I_e = f(U_a) \quad \text{สำหรับ } U_g = 0$$

U_a	0	100	200	300	โวลต.
$U_{st} = 0 + 0,1 \cdot U_a$	0	10	20	30	โวลต.
I_e	0	15,8	44,8	84	mA

เขียนเส้นโค้งตามค่า I_e อันสัมพันธ์อยู่กับกำลังดันฮาไนด์ จะได้รูปของเส้นโค้งลักษณะ $I_e = f(U_a)$ สำหรับ $U_g = 0$ (เส้นโค้ง e) ดังในรูป 80b ค่าของกระแสไฟอย่างเดียวกันหาได้จากรูป 80b สำหรับ $U_g = 0$ (ดังแสดงเป็นวงเล็กๆ) เหมือนกัน ฉะนั้นจึงอาจสร้างเส้นโค้งลักษณะของฮาไนด์ $I_e = f(U_a)$ (เส้นโค้ง e) จากเส้นโค้งลักษณะของกริดในรูป 80a เป็นรูป 80b ได้ ในทำนองเดียวกันก็ได้เส้นโค้งลักษณะฮาไนด์สำหรับ $U_g = -10 V, -20 V$ และ -30 โวลต. (เส้นโค้ง f, g และ h)

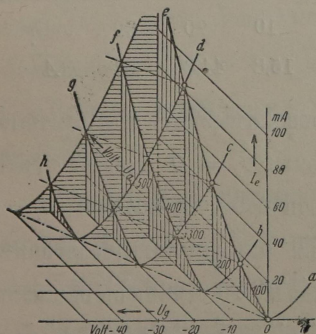
จะเห็นได้จากชุดเส้นโค้งในรูป 80 ว่าบรรดาเส้นโค้งลักษณะของ
 อาโนดเคลื่อนตัวไปทางขวามากขึ้น ในเมื่อกำลังดันของกริดเป็นลบ
 ๔๕
 ทวชน

จากค่าต่าง ๆ ที่คำนวณได้มานี้ให้เขียนชุดว่า สำหรับขนาดของ
 กระแสไฟมีมชนในหลอดที่มีกริดอันกำหนดให้มัน กำลังดันบังคับเป็น
 ตัวสำคัญชาติ และค่าอนันนี้จะใช้ได้เสมอไม่ว่าค่าของกำลังดัน U_g
 และ U_a จะประกอบกันเป็นอย่างไร

ค. การแสดงเส้นโค้งลักษณะของไฟฟ้าประจุห้วงว่าง โดยวิธีห้อย

(ทิศทางของเส้นโค้งลักษณะ)

ความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันระหว่าง I_c , U_g และ U_a ตามกฎของ



รูป ๘๑ แสดงเส้นโค้งลักษณะ

$$I_c = f(U_g, U_a)$$

ของหลอดที่มีกริด ด้วย

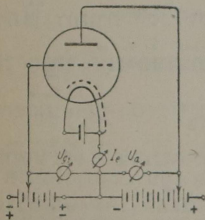
อาการอยู่ภายในห้อง

ไฟฟ้าประจุ (65a) นี้ จะแสดงให้เห็นได้แจ่มแจ้งยิ่งขึ้น เมื่อแสดงรูป
 เส้นโค้งลักษณะส่วนที่สัมพันธ์ซึ่งกันและกันโดยวิธีห้อย (รูป ๘๑)

นำค่าต่าง ๆ ที่เขียนตามหลักของโคออร์ดิเนตภายในห้อง (Room coordinate System) ด้วยแกนนอน (แอมป์ดัซ) U_0 และ U_1 และด้วยแกนตั้ง (ออร์ดิเนต) I_0 ด้วยค่าต่าง ๆ ของรูป ๘๐ แล้วจะได้รูปเป็นดังรูป ๘๑ อันเป็นรูปทิวเขาของเส้นโค้งบอกลักษณะ ความง่ายตายในการหนักควาจำกัด้แสดงแต่ในเขตค้ของกำลังค้ณกริดค้เป็นลบ เส้นโค้งเส้นหนึ่ง ๆ ต่างกัมออกซร ก้ากัด้แสดง อยู่ตรงกันกับที่ แสดงในรูป ๘๐ พนเหนือท ซึ่งบรรดาเส้น โค้งทงหลายดวงค้วอัย เป็นจุดค้ค้บถยขอมเนตรของจุดปลายแห่งบรรดาออร์ดิเนตของกระแด้ไฟอิมชัณ บรรดาจุดต่าง ๆ ที่ค้ยค้ดกันด้วยเส้นจุด ๆ ในพวกกระแด้ไฟหนึ่ง ๆ นเป็นของกำลังค้ณบงค้บอนค้ยวกัน

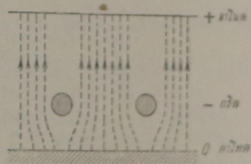
ข. การแตกต่างของเส้นโค้งลักษณะมีได้ไปจากสูตรของไฟฟ้าประจุ

ห้วงว่าง



รูป ๘๒ แสดงวงจรสำหรับ
ใช้วัดหากระแสไฟอิมชัณ I_p
อันสัมพันธ์กันอยู่กับ U_g และ U_a

เรายกเอาวงไฟฟ้าตามรูป ๘๒ เพื่อค้
หาเส้น ลักษณะของ กระแด้ไฟอิม ชัณค้



รูป ๘๓ แสดงรูปอธิบายให้กันอาการ
เกิดเป็นเกาะในเมอกริดเป็นลบ

พนช ษณอยู่กับก้าตังค้ณกริดค้และ ก้าตังค้ณอาโนด แล้วเป็รียบเทียบผลค้ได้

เส้นโค้งจากการวัดนี้กับผลที่คำนวณได้ตามสูตรของไฟฟ้าประจุห้วงว่าง (65a) ที่แสดงอยู่ตามรูป ๘๒ จะได้ความแตกต่างอันมีค่าน้อยอยู่เป็นชุดไป

๔) กระแสไฟรั่วเดิน

สำหรับ $U_a = U_g = 0$ ตามกฎไฟฟ้าประจุห้วงว่าง (65a)

$$I_c = K \cdot (U_g + D U_a)^2$$

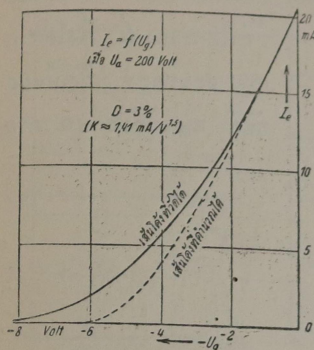
I_c จะต้องหมดไป ในอาการตรงข้ามจะเห็นได้จากรูป ๘๔ ว่ายังมีกระแสไฟจำนวนเล็กน้อยไหลอยู่อีก คือเป็นกระแสไฟรั่วเดิน อันเป็นกระแสไฟเกิดจากความเร็วแยกตัวปลั่งออกจากคาโทดของอิเล็กทรอนอันใหญ่กว่าสูญ สำหรับกำลังดันบังคับที่มีจำนวนใกล้เคียงกับสูญ ดังในหลอดที่ไม่มีกริด อันเป็นเขตต์ไฟฟ้าประจุห้วงว่างเข้าไปหาเขตต์กระแสไฟรั่วเดิน ซึ่งเป็นเขตต์ที่เส้นลักษณะอันมีกำลังลดต่ำลง ตามทางใช้การตกอยู่ในเขตต์ $U_{sc} \approx -1$ โวลต์ แต่กระแสไฟอิมิชชันจะเป็นสูญ

๕) อาการทำให้เกิดเป็นเกาะ

ในเมื่อกำลังดันกริดเป็นลบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อระยะห่างระหว่างกริดกับคาโทดมีน้อยๆ ส่วนหนึ่งของตัวคาโทดจะถูกกั้นทางไฟฟ้า (Shield) ด้วยกริด และจะไม่รับเอาส่วนหนึ่งส่วนใดของกระแสไฟ ในเมื่อมีการตั้งกระแสไฟอิมิชชันผ่านต่อไปนั้นเลย ด้วยอาการอันนี้จะทำให้ตัวคาโทดที่ผิวแดงผดและเนื้อที่ผิวด้านแดงผดของอาโนดเล็กน้อย และส่วนใดอันเป็นส่วนที่ท่วให้ขนาดของตัวรูกริดโฟโตชนตามสมการ (62a)

$$D = \frac{F_a - F_g}{F_a} \cdot \frac{b}{a}$$

ด้วยกำลังดันเดิมลบ (Negative grid voltage)



รูป ๘๔ แสดงความผิดแผกของเส้น
โค้งลักษณะอันเกิดจากการเป็น
เกาะภายในหลอด

ใหญ่ ๆ จะทัวมากขึ้น จากอาการ
ที่กล่าวมาเองรูป ๘๔ จึงแสดงให้เห็น
ความผิดแผกของเส้นลักษณะที่ได้
มาด้วยการวัด แตกต่างไปจากเส้น
ลักษณะที่ได้จากการคำนวณ

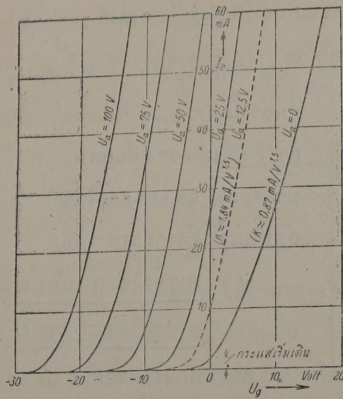
γ) การทำให้เส้นลักษณะ

ลาดลงโดย $U_g = 0$

ตลอดตอนที่กำลังดันกันด U_g

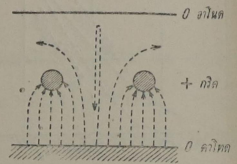
ใหญ่กว่าศูนย์ ซึ่งในรูป ๘๕ เส้น
ลักษณะจะเดินขนานกันลงมาตามกับ
ทางค่า U_g ส่วนสำหรับ $U_g = 0$ นั้น

ปรากฏว่าเส้นลักษณะลาดคว้งลงมากมายทั้งเป็นด้วย U_g และ $D \cdot U_g$
ต่างก็เป็นศูนย์ อาการเปลี่ยนแปลงของตัวขรุขระพื้นจึงไม่เป็นคันเหี้ยทำ
ให้เส้นโค้งลักษณะลาดลงได้ อาการอันนี้กลับไปตามอยู่กับการที่ทำให้ตัว
ประจำของสูตรไฟฟ้าประจุห้วงว่าง K เล็กลงมากกว่า เราพิจารณาใน
ลักษณะอาการที่แสดงอยู่ตามรูป ๘๖ อันแสดงถึงวิถีทางเดินของอิเล็ก
ตรอน เราจะเห็นได้ว่า เมื่อกริดเป็นบวกและกำลังดันกันดเป็นศูนย์ อิเล็ก
ตรอนจะกลับหลังหันเสียก่อนที่จะถึงอันด คือมันกลับคืนเข้าไปสู่กริด
และคาโทดตามลำดับ ด้วยอาการเช่นนี้จึงทำให้ระยะห่างลำแสงผล b ใน



รูป ๒๕ แสดงอาการลาดของเส้น
ลักษณะในเมื่อ $U_a = 0$

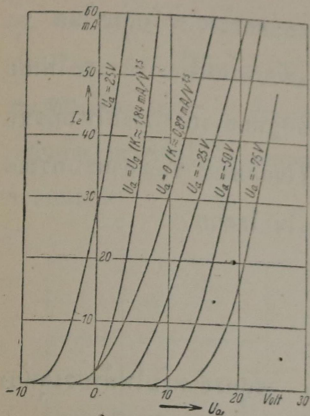
(67) ทวชน และเนอทด้าแดง
ผล F_a' ดนน้อยดง อันเป็นผล
ที่ทำให้ค่าของ K ซึ่งได้จาก
(67) ดนน้อยดง ซึ่งเป็นผล
อันทำให้เส้นโค้งลักษณะลาด



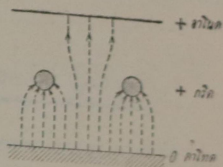
รูป ๒๖ แสดงวิถีอิเล็กตรอนของ
หลอดที่มีกริดเป็นบวกและกำลัง
ดันเป็นสูญ

ดงตามไปด้วย ว่ากันตามที่จริงถ้าสำหรับ $U_a = 0$ นี้ก็เกิดมีอาการทำให้อัตราส่วน F_a'/b^2 บังเกิดชน ซึ่งรู้ได้จากเส้นโค้งลักษณะตามรูป ๒๕ ด้วยเหมือนกัน เมื่อต่อกริดกับฮาโนดเข้าด้วยกันเสียก็จะได้เส้นโค้งสำหรับ $U_a = U_g$ สำหรับในเมื่อ $U_a = 25$ โวลต์ หรือโดยทั่วไปสำหรับ $U_a > 0$ มีรูปของเส้นโค้งขนานกันอีก ผลอันนี้อธิบายให้เห็นว่า สำหรับอัตราส่วน F_a'/b^2 ตามปกตินี้ถ้าแดงผลด้วย ทั้งนี้เป็นโดยเหตุที่บรรดาอิเล็กตรอนดังที่แสดงอยู่ในรูป ๒๕ จึงตรงเข้าไปสู่กริดและไปสู่อานโนดได้ทีเดียว คราวนี้ทำให้ฮาโนดเป็นลบ ซึ่งตรงกันข้ามกับ

อาการก่อนจะเห็นได้จากเส้นโค้งลักษณะสำหรับ $U_a = -50$ และ -75 โวลต์นั้นมีความชันต่ำลงเล็กน้อย ส่วนที่จะโค้งย้อนกลับมากตัวอีก



ก็คือ บรรดาอิเล็กตรอนที่บินผ่านช่องของ กริดพื้น ไป แล้วไม่อาจจะเข้าไปยังคาโทดได้ จึงไปได้แต่เพียงในระยะทางอันเข้ามา เมื่อเป็นเช่นระยะทางอันจำแนกผล b จึง



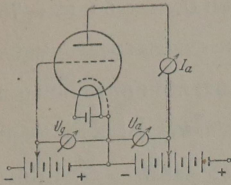
รูป ๘๗ แสดงให้เห็นอาการลาดลงของเส้นโค้งลักษณะในเมื่อ $U_a = 0$ และ $= U_a < 0$

รูป ๘๘ แสดงวิถีบินของอิเล็กตรอนในหลอดที่มีกริดเป็นบรรทัดและแอโนดเป็นบรรทัดเช่นเดียวกัน

ถูกทำให้หยุดยั้ง และค่าของ K ก็ต้องพลอยลดตามลงไปด้วย จึงเป็นเหตุทำให้ความชันของเส้นโค้งทวชัน [เปรียบเทียบดูกับ (75) อันแสดงความสัมพันธ์ของระหว่าง K และความชัน S]

๖. หลอดที่ไม่มีกระแสไฟกริด

ทำให้กำลังดันที่กระทำต่อกริดของหลอดเป็นลบ. เมื่อเป็นเช่นนั้นอิเล็กตรอนทั้งหลายที่ออกมาจากคาโทดจะถูกผลักให้กระเด็นหนีออกไป



รูป ๔๘ วงจรสำหรับใช้วัดกระแสไฟ
ไอโนด I_a อันสัมพันธ์กับกำลัง
ดันกริด U_g และกำลังดันไอโนด U_a

จากกริด และกระแสไฟกริดจะเป็น
ศูนย์ คราวนี้กระแสไฟอิมิชั่นทั้งหมด
ของหลอดจะไหลเข้าไปสู่อานอด ทั้ง
นี้เป็นด้วยกริดมิได้ รับกระแสไฟโดย
นระหนักฏักถ่วงถึง กระแสไฟอิมิชั่น
จึงใช้ในลักษณะ เช่นนี้ สำหรับกระแส
ไฟไอโนดได้ด้วย

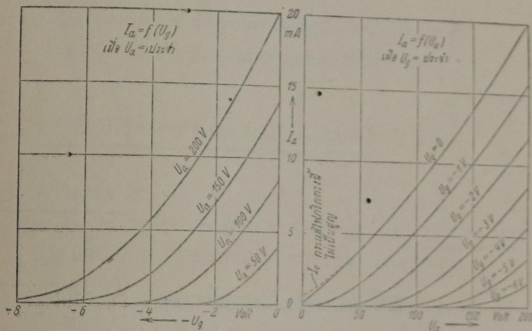
ก. หมู่เส้นโค้งลักษณะ

สำหรับย่านกำลังดันกริดที่เป็นลบ ใช้สูตรสำหรับไฟฟ้าประจุห้วง
ว่าง (65a) $I_e = K (U_g + D \cdot U_a)^{\frac{3}{2}}$ A ได้ โดยคิดเอากระแส
ไฟไอโนด I_e แทนกับกระแสไฟ I_e จึงได้สมการสัมพันธ์

$$I_e = K (U_g + D \cdot U_a)^{\frac{3}{2}} \quad \dots \dots \dots (69)$$

อันเป็นสมการของกระแสไฟไอโนด เขตที่จะใช้สูตร (69) นี้ได้เพียง
ใดนั้น ก็จำกัดด้วยเป็นธรรมดาอย่างเดียวกันกับสูตร (65a) ภายใน
เขตของไฟฟ้าประจุห้วงว่าง คือถูกจำกัดด้วย (66) $0 \ll U_{st} < U_{Satt}$
และยิ่งกว่านั้นยังถูกจำกัดตามกำลังดันกริดอันมีเขตกำหนดให้เป็นลบอีก
ด้วย ตาม (69) นี้ สามารถแสดงรูปของกระแสไฟไอโนด I_e อัน
สัมพันธ์กับกำลังดันกริดหรือกำลังดันไอโนด หมู่เส้นโค้งลักษณะ

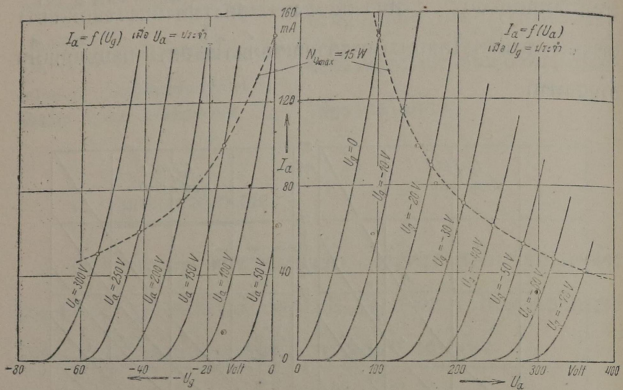
ของกระแสไฟฟาโนดนี้ ได้แสดงสำหรับหลอดชนิดต่าง ๆ ไว้ให้ด้ว
สำหรับหลอดที่เฝ้าคาโทดให้ร้อนโดยวิธีอื่น (หลอดที่ก่้าง AC2)
รูป ๘๐ แสดงเส้นโค้งลักษณะ $I_a = f(U_g)$ โดยรักษาค่า U_a ประจำ
กับ $I_a = f(U_a)$ โดยรักษาค่า U_g ประจำ จากวงไฟที่แสดงอยู่ในรูป ๘๑
ตามทางฟัดส์แล้ว เห็นว่าผลของการแสดงรูปทั้งสองวิธีนั้นเป็นอย่าง
เดียวกัน ฉะนั้นจึงได้นิยมรับการจำกัดเขตมาใช้แสดงตามแบบนั้นเป็น
จำนวนมาก



รูป ๘๐ แสดงเส้นโค้งลักษณะกระแสไฟฟาโนดของหลอดกริดเดี่ยวที่เฝ้า
คาโทดโดยวิธีอื่น (หลอดที่ก่้าง AC2)

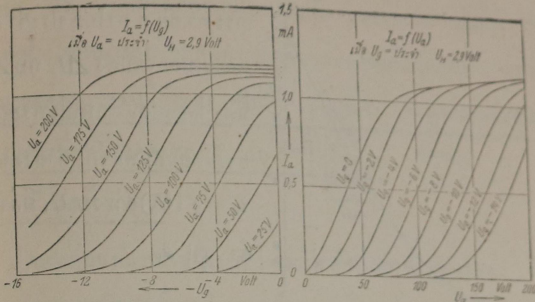
สำหรับหลอดที่ใช้คอนท่ายของเครื่องรับหรือเรียกว่าหลอดทางออก
(Last stage valve) A D 1 รูป ๘๑ แสดงผลของหมัดเส้นโค้งลักษณะ
กระแสไฟฟาโนดที่ทำการทดลองได้ หลอดชนิดนี้กำหนดก่้าง

งานสูงสุดเสียไปในไดโอด อันยอมอนุญาตได้เป็น $N_v = N_a \cdot I_a = 15$ วัตต์ คือกระแสไฟไดโอดสูงสุด $I_{a\max} = N_{v\max} / U_a$ อันสัมพันธ์กันอยู่กับกำลังไดโอด U_a นั้น ได้เขียนเส้นโค้งแสดงอยู่ตามรูป ๕๑



รูป ๕๑ แสดงเส้นโค้งลักษณะกระแสไฟไดโอดของหลอดที่มีกริดเดี่ยว
ชนิดที่สามาโทโดยตรง (หลอดทวีกำลัง AD1)

รูป ๕๒ แสดงให้เห็นหมู่เส้นโค้งของหลอดรับแบบเกาซึ่งใช้คาโทดทำด้วยวุลแฟม (RE11) คือเป็นหลอดที่แสดงอาการกระแสไฟอ้อมตัวอย่างเด่นชัด เส้นลักษณะไฟฟ้าประจุห้วงว่าง ณ ที่นี้ถูกจำกัดเขตด้วยกระแสไฟอ้อมตัว I_{as}



รูป ๕๒ แสดงเส้นโค้งลักษณะกระแสไฟฟ้าโนดของหลอดกริดเดี่ยว
ชนิดคาโทดทำด้วยลูเมน (RE 11)

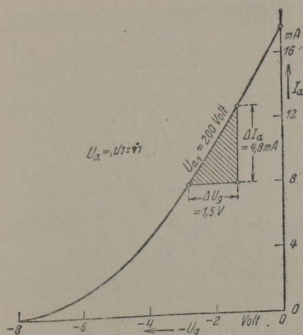
ข. ตัวแปรจำสำหรับหลอด (S, D, R_i)

(๔) ความชัน S

ภายใต้ความหมายของคำว่า “ความชันของหลอดทึมกริด” นั้นเป็น
ที่เข้าใจกันว่า คือ ความชันของเส้นโค้งบอกลักษณะกระแสไฟฟ้าโนด
อันสัมพันธ์กับกำลังดันกริดนั่นเอง

$$S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_g} \quad (A/V) \text{ โดย } U_a \text{ ประจำ (70)}$$

หรือจะกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ จำนวนเพิ่มขึ้นของกระแสไฟฟ้าโนดต่อ
กำลังดันที่เพิ่มขึ้นของกำลังดันกริดหนึ่งโวลต์ของหลอด ซึ่งกำลังดันอื่น



กระทำอยู่ที่ฮาโนดประจำคงที่
ความเปลี่ยนแปลง ΔI_a กับ ΔU_g
หาได้จากเส้นลักษณะ กระแสไฟ
ฮาโนดอันสัมพันธ์กับกำลังดันกริด
 $I_a = f(U_g)$ สำหรับ U_a มีค่าประ
จำ รูป ๕๓

ความชันเป็น อัตราตามส่วน

รูป ๕๓ แสดงการหาความชัน S
($\Delta I_a = 4.8 \text{ mA}$, $\Delta U_g = 1.5 \text{ โวลต์}$,
 $S = \Delta I_a / \Delta U_g = 4.8 / 1.5$
 $= 3.2 \text{ mA/V} = 3.2 \cdot 10^{-3} \text{ A/V}$)

โค้ง ของเส้นลักษณะ ของหลอด
ที่ได้มาอันปราศจากตัวประจำโดย
ที่ แต่ว่าขึ้นอยู่กับ U_g และ U_a

ความเกี่ยวพันอันนี้ ได้โดยการคำนวณจากกฎไฟฟ้าประจุห้วงว่าง (69)
 $I_a = K (U_g + D \cdot U_a)^{3/2}$ เมื่อทำการดิฟเฟอเรนเชียลเอตตามการ
(69) อันถือ U_g เป็นตัวเปลี่ยนแปลง จะได้ความชันในเซตต์ไฟฟ้าประจุห้วง
ว่างเป็น

$$\frac{dI_a}{dU_g} = \frac{3}{2} K (U_g + D U_a)^{1/2} \frac{dU_g}{dU_g}$$

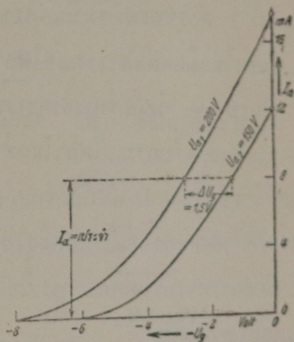
$$S = 1.5 \cdot K \sqrt{U_g + D U_a} \text{ (A/V)} \dots (71)$$

ความชันที่หาตามส่วนกับแ่งควรวีของกำลังดันบังคับ ($U_g + D \cdot U_a$)
ตามนัยให้เห็นได้ อีกว่าสมการ (70) อันอาศัยกำลังดัน ฮาโนดเป็น

หัดกัน เป็นเกณฑ์จากต่อนหนึ่งเหมือนกัน เขตจำกัดของหนึ่งจากต่อนหนึ่ง
 ยึดออกไปให้เหมาะสมแบบสมการอื่นเกี่ยวกับกำลังต้นกริตด้วย คือว่า
 รายการแห่งความชันที่กำหนดให้แก้หัดต่อนหนึ่ง จะถูกต้องแน่นอนก็
 แต่เฉพาะเมื่อกำหนดค่าของ U_a กับ U_g ให้ไว้ด้วย

β) ตัวรุกริฟ D

ก่อนอื่นกล่าวถึง การวิเคราะห์ ศัพท์ ของตัวรุกริฟ ได้
 วิเคราะห์ตามหลักของอิเล็กโทรสแตติก ซึ่งจะต้องทดลองโดยอาศัย
 สูตรของไฟฟ้าประจุห้วงว่าง (69) ได้ผลด้วยกัน ในสูตร (69)
 $I_a = K (U_g + D \cdot U_a)^{\frac{3}{2}}$ นี้ตัว I_a เป็นตัวประจำ ซึ่งให้เห็นได้ว่า
 กำลังต้นบังคับจาก ต้องเป็น ตัว
 ประจำด้วย คราวนี้ทดลองทำ
 ให้กำลังต้นอาโนดทวน ด้วย
 จำนวน 1 U_a คือ กำลัง ต้น
 เพิ่มขึ้นจาก U_{a2} เป็น U_{a1} (ดู
 รูป ๕๔) ฉะนั้นกำลังต้นบังคับ
 และ I_a จะประจำคงที่อยู่ที่
 ต่อเมื่อ ทำให้ กำลังต้น กริตลด
 น้อยลง ด้วย จำนวน ที่ กำหนด
 ΔU_g (เปรียบเทียบกับรูป ๕๔)



รูป ๕๔ แสดงการหาตัวรุกริฟ D .

$$(\Delta U_g = 1,5 \text{ โวลต์ } \Delta U_a = 50 \text{ โวลต์})$$

$$D = \Delta U_g / \Delta U_a = 1,5 / 50 = 0,03$$

โดยที่ความเปลี่ยนแปลงของกำลังดันอาโนด ตั้งในกำลังดัน
อาโนดเอง ซึ่งกระทำให้เกิดได้ที่กริดด้วยจำนวน $D \cdot \Delta U_a$ เป็น
สมการ

$$D \cdot \Delta U_a - \Delta U_g = 0$$

คือหมายความว่า กำลังดันอาโนดที่เพิ่มขึ้นและตำแหน่งต่อกริดเป็น
จำนวน $D \cdot \Delta U_a$ นั้นจะต้องเท่ากับกำลังดันที่กริดลดน้อยลง ΔU_g ใน
เมื่อกระแสไฟ I_a จะต้องมีค่าประจำ จากความที่กล่าวนี้ จึงหาค่าของ
ตัวทวีคูณได้

$$D = \frac{\Delta U_g}{\Delta U_a} \quad \text{โดย } I_a \text{ มีค่าประจำ} \dots (72)$$

(รูป ๔๔) ตัวทวีคูณ D จึงเป็นอัตราส่วนของกำลังดันกริดที่เพิ่มขึ้นต่อ
กำลังดันอาโนดที่ลดลง โดยกระแสไฟอาโนดประจำคงที่

ในรูป ๔๔ วัดค่าระยะห่างระหว่างเส้นโค้งลักษณะต้องเส้นใน
ทางตามนอนสำหรับกระแสไฟอาโนดต่างกัน จึงรู้ได้ว่าจำนวนกระแส
ไฟและตัวทวีคูณ D นั้นเป็นจำนวนกระแสไฟอาโนด I_a ลดน้อยลง
แล้วทำให้กำลังดันกริดที่เป็นลบหมดลงจน อันเป็นเรื่องที่กล่าวมาแล้ว
อันว่าด้วยการกระทำให้เกิดอาการเป็นเกาะในหมวด ๕ ข้อ β ซึ่งจะต้อง
หวนกลับมาพิจารณาอีก

ในจำนวนหลายรายด้วยกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อทำการคำนวณ
อย่างหยาบ ๆ เปรียบเทียบหลอดต้องหลอดดี ถ้าหากว่าตัวทวีคูณ D
หาได้คงกัน ก็นับว่าเป็นการเพียงพอสำหรับการหาในหลอดที่ไม่ต้อง

การความละเอียดจนเกินไปนัก วิเคราะห์ได้โดยการแบ่งกระแสไฟฟาโนด
 ให้น้อยลงด้วยการเพิ่มกำลังดันกริด คือทำให้กำลังดันที่กริดมีค่าเป็น
 ลบแรงมากจนกระทั่งถือว่า กระแสไฟฟาโนดหายไปเป็นศูนย์ และกำลัง
 ดันบังคับอันมีค่าเป็น $-U_g + D \cdot U_a$ จะต้องเป็นศูนย์ด้วย จากอาการ
 อันนี้จะได้อำนาจของตัวทรานซิสเตอร์โดยใกล้เคียงเป็น

$$D \approx \frac{U_g}{U_a} \text{ เมื่อ } I_a = 0 \quad \dots \dots \dots (73)$$

สำหรับในรายที่แสดงรูปอยู่ตามรูป ๘๔ นี้ เมื่อ $U_g = 8$ โวลต์ และ
 $U_a = 200$ โวลต์ จึงได้อำนาจของตัวทรานซิสเตอร์อย่างใกล้เคียง
 $D \approx \frac{8}{200} = 0,04$ ซึ่งต่างกับค่าของตัวทรานซิสเตอร์ที่ถูกต้องจาก (72)

อันได้อำนาจของ $D = 0,03$

๗) ความต้านภายในหลอด R_i

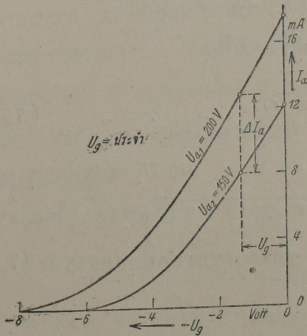
ความต้านภายในหลอดที่มีกริด หาได้ตามกฎของโอห์ม

$$R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} \quad (\Omega) \quad \dots \dots \dots (74)$$

เมื่อ U_g มีค่าประจำ

คือเป็นเส้นส่วนของกำลังดันคาโนดที่เปลี่ยนแปลง ต่อกระแสไฟฟาโนดที่
 เปลี่ยนแปลงในเมื่อกำลังดันของกริดประจำ วิธีที่ง่ายที่สุดที่จะหาความ
 ต้านภายใน R_i นี้ คือหาจากเส้นโค้งลักษณะกระแสไฟฟาโนดอันสัมพันธ์

อยู่กับกำลังดันอาโนด $I_a = f(U_a)$ ซึ่งเขียนมาโดยรักษาให้กำลังดัน
ของกริดประจำคงที่ (รูป 90, 91 และ 92)



รูป ๙๕ แสดงให้เห็นการหาความต้าน
ภายในหลอด R_i ($\Delta U_a = 50$ โวลต์,
 $\Delta I_a = 4,8 \cdot 10^{-3}$ แอมแปร์,
 $R_i = \Delta U_a / \Delta I_a = 50 / 4,8 \cdot 10^{-3}$
 $= 10440 \Omega$)

เพื่อให้การแสดงรูปสำหรับ
หาตัวประจำของหลอดเข้าชุดทำ
นองเดียวกัน ทางที่ตรงควรหา
โดยวิธีใช้เส้นโค้งลักษณะกระแ
สไฟฟาโนดอันดั้มพันธ์อยู่กับกำลัง
ดันกริด $I_a = f(U_g)$ แล้วหาตาม
วิธีดังที่แสดง อยู่ในรูป ๙๕ จาก
 ΔU_a และ ΔI_a สำหรับกำลังกริด
ประจำ ก็จะได้ค่าของความต้าน
ภายใน R_i R_i นี้เป็นอย่างเดีย
กกับความสัมพันธ์ แต่ว่าไม่มีตัว
ประจำคงที่อยู่กับ U_g และ U_a
ความเกี่ยวข้องตามฟังก์ชันของเลข

จะได้จากกฎไฟฟ้าประจุห้วงว่าง (69)

$$I_a = K(U_g + D \cdot U_a)^{\frac{3}{2}}$$

$$R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a}$$

$$\frac{dI_a}{dU_a} = 1,5 K \sqrt{U_g + D \cdot U_a} \cdot D = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_a} = \frac{1}{R_i}$$

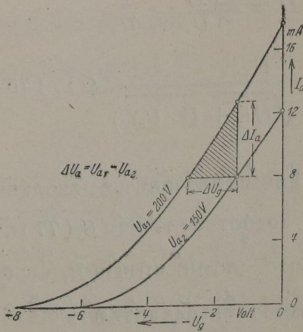
$$\therefore R_i = \frac{1}{D (1,5 K \cdot \sqrt{(U_g + D \cdot U_a)})} (\Omega) \quad (75)$$

สมการนี้จะใช้ได้แค่ไดโน ย่อมมีเขตจำกัดทำนองเดียวกันกับ
สูตรของไฟฟ้าประจุห้วงว่าง (69) และสูตรของความชัน S (77) อัน
อยู่ภายในเขตของไฟฟ้าประจุห้วงว่าง ความต้านภายใน R_i นั้นจะ
ขึ้นตามส่วนกับ U_a และลดน้อยลงตามส่วนที่กำลังคั่นกริดที่มากขึ้นใน
ทางลบ การที่จะกำหนดค่าของความต้านภายใน R_i โดยถูกต้องแน่นอน
นั้นจะต้องแจ้งค่าของ U_g และ U_a สำหรับความต้านภายในอันนี้เท่ากับ
ไวด้วย

ความต้านภายในของหลอดนี้กำหนดดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น
คือเป็นอาการของหลอดที่อาศัยความเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟาโนด
อันสัมพันธ์กับความเปลี่ยนแปลงของกำลังคั่นอาโนดเป็นหลัก จึงต้อง
พิจารณาแตกต่างไปจากของสมการอันเป็นรากแห่งความต้านกระแสไฟ
ตรง

$$R_{gi} = \frac{U_a}{I_a} \quad \dots \dots \dots (76)$$

R_{gi} นี้จะอยู่ในความพิจารณาแต่เมื่อเป็นปัญหาอันเกี่ยวกับการใช้จ่าย
กระแสหมดไปภายในหลอดเท่านั้น โดยเหตุที่ R_{gi} นี้ไม่เป็นตัวประจำ



รูป ๘๖ แสดงให้เห็นภาพสำหรับ
หาค่าตัวประจุของหลอด S, D และ R_i

จึงเห็นค่าของความต้านกระแส
ไฟตรงนี้อาจหาจากหมู่ของเส้น
โค้งลักษณะ $I_a = f(U_a)$ ได้โดย
สะดวกง่ายดายนมากกว่า

ค. คำนวณภายในหลอด

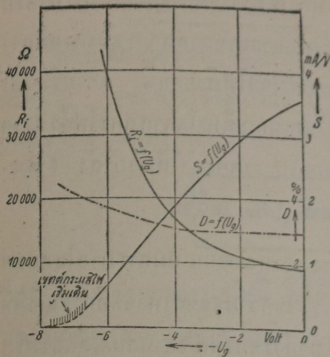
ในระหว่างตัวประจุของ
หลอด ซึ่งหามาได้ดังที่แคว้นานัม
ส่วนเกี่ยวข้องกับตัวพินกันเป็น

$$S \cdot D \cdot R_i = 1$$

$$\dots \dots \dots (77)$$

ความถูกต้องของความเกี่ยวข้องซึ่งกันและกันในสมการข้างบนนี้
เป็นที่เข้าใจได้ไม่ยาก เมื่อเขียนค่าของ S, D และ R_i ตามสมการ
วิเคราะห์ความหมาย (70) (72) และ (74) แล้วนำลงไปแทนค่าใน (71)

$$\frac{\Delta I_a}{\Delta U_g} \cdot \frac{\Delta U_g}{\Delta U_a} \cdot \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} = 1 \dots \dots \dots (77a)$$



เป็นที่เข้าใจกันอยู่แล้วว่า
สมการนี้จะ สมจริงตามเกณฑ์
ถ้าเมื่อค่าการเปลี่ยนแปลงใน
ส่วนต่างๆ อยู่ในค่าปกติอัน
เดียวกันใน สนามของเส้นโค้ง
บอกลักษณะ ของทรงทางที่แน่นอน
คือหาค่าของ S, D และ R_i จาก
เส้นโค้งบอกลักษณะอันแสดง
เป็นรูปตามเหตุย่อมอยู่ในรูป

รูป ๕๗ แสดงเส้นโค้งของความต้าน S , ตัวรับ
กริยา D และความต้านภายใน R_i อันสัมพันธ์
กันขึ้นอยู่กับ U_g ในเมื่อ $U_g = 200$ โวลต์
(REN 904)

96 สมการ (77) นั้นอาจ
พิสูจน์ได้จาก (71) และ
(75) คือ

$$S = 1,5 K \cdot \sqrt{U_g + D \cdot U_a} \quad (A/V) \quad \dots (71)$$

$$R_i = \frac{1}{D (1,5 \cdot K \cdot \sqrt{U_g + D U_a})} \quad (\Omega) \quad \dots (75)$$

$$S \cdot R_i = 1,5 \cdot K \cdot \sqrt{U_g + D \cdot U_a} \cdot \frac{1}{D \cdot 1,5 \cdot K \sqrt{U_g + D \cdot U_a}} = \frac{1}{D}$$

ซึ่งสมจริงตามสมการ (77)

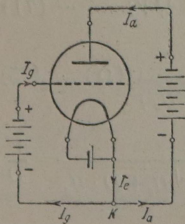
คราวนี้หาค่าของ S, D และ R_i อันสัมพันธ์กันขึ้นอยู่กับค่าดัง
กริด สำหรับตัวอย่างที่เลือกใช้ในต้นดั่งปรากฏตามรูป 96 โดยการรักษ

ให้กำลังดัน อาโนด มีค่าประจำ ก็จะได้อาการเดิน ของเส้นโค้งสำหรับ
ค่าต่าง ๆ น้อยในรูป ๘๗ ซึ่งสัมพันธ์ตามกำลังดันกริดทุก ๆ อันแห่งสมการ
ภายในหลอด (77) ในเขตกระแสไฟเริ่มเดินนี้ ความชันและ
ความต้านภายในของหลอดไม่เป็นไปตามกฎ ที่หาได้จากสูตรไฟฟ้าประจุ
ห้วงว่าง (77) และ (75) อีกต่อไป แต่จะทำให้ตัวกำลัง (Ex-
ponential) ลดน้อยลงตลอดเวลาที่ R_i ทวน

สำหรับรูปพรรณในการสร้าง ของหลอดนั้น สมการภายในหลอด
 $S \cdot D \cdot R_i = 1$ ได้แสดงให้เราเห็นว่า ในความชันของหลอดที่กำหนดให้
ความต้านภายในจะต้องมากขึ้น ในเมื่อตัวขั้วกริดไฟของหลอดเล็กลงหรือ
ในตัวขั้วกริดไฟที่กำหนดให้ ความชันจะต้องถูกทำให้ใหญ่ขึ้น ในเมื่อ
จะต้องให้ความต้านภายในของหลอดน้อยลง.

๗. หลอดที่มีกระแสไฟกริด

เมื่อกริดของหลอดเป็นบวก จะมีกระแสไฟกริดไหล คือ กระแสไฟ



อันเกิดจากกระแสอิมิชชัน ที่ออกจากคาโทด
จำแนกตัว แบ่งออกไปเป็นสองภาค คือ ไปสู่
กริดภาคหนึ่ง และ ไปสู่อาโนด อีกภาคหนึ่ง
อาการที่เป็นไปตามกฎของเรอ์นิจได้จำแนก
ออกกล่าวไปตามลำดับ

รูป ๕๘ แสดงการแบ่งแจก
กระแสไฟในหลอดที่มีกริด

ก. การแบ่งแยกกระแสไฟ

ความสัมพันธ์ที่ติดต่อกันระหว่างกระแสไฟอินพุต I_o กระแสไฟกริด I_g และกระแสไฟแอนอด I_a นั้นหามาได้โดยใช้กฎที่สองของเกย์รอสส์ ๒ ในตรงจุดแยกค่า K ดังแสดงอยู่ในวงไฟรูป ๘๘

$$I_o = I_g + I_a \quad \dots \dots \dots (80)$$

กฎการแบ่งแยกของกระแสไฟ I_o ใช้ได้ในทุก ๆ ลักษณะ และยังใช้ได้ถึงเมื่ออาการภายในหลอดเกิดการแลกเปลี่ยนแห่งกระแสไฟอิเล็กตรอนเซกนดารี อีกด้วย

ข. การแจกกระจายกระแสไฟที่ปราศจากการแลกเปลี่ยนแห่งอิเล็กตรอนเซกนดารี

ในหลอดที่มีขานอดันเดียว และกริดแคตตะเพออันเดียวด้วย การแลกเปลี่ยนของอิเล็กตรอนเซกนดารีนั้นจะบ่งกั้นมิให้เกิดขึ้นได้แต่ในเมื่อกำลังดันบวกของออดโทดทั้งสองนี้ น้อยกว่า 10 โวลต์ การแจกกระจายกระแสไฟที่จักได้กล่าวต่อไปนั้น ถ้อยตามหลักกำหนดทั้งว่าแล้วเป็นเกณฑ์

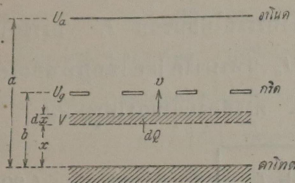
๙) กฎแห่งการแจกกระจายกระแสไฟของถังค์ (F.TANK)

$$(U_a > U_g)$$

อาการแจกกระจายของกระแสไฟ I_o ไม่สามารถจะดำเนินหลัก

คำนวณทางเลขให้ถูกต้องโดยแท้จริงได้

ทั้งนี้จำเป็นต้องจัดรูป



แห่งการจำกัดเขตต์ อันเป็นดังจำ
เป็นจำต้องนำเอาค่าใกล้เคียงเข้าไป

ใช้ด้วยอยู่เสมอ ดังนั้นถ้ารับการ
ที่จะพิจารณาต่อไป จึงขอตัด

เอาเรื่องไฟฟ้าประจุห้วงว่าง ออก

นอกวงเสียทีเดียว คือว่า เราจำกัด

ตัวลงไปถึงหลอดที่หมดการมีประจุ

น้อย ๆ ซึ่งใช้ทำงานอยู่ภายในเขตต์

รูป ๔๘ แสดงถึงหลักในการพิสูจน์หากฎ

แห่งการแจกกระจายกระแสไฟของทั้งๆ

กระแสดำเนิน เพื่อที่จะให้การแสดงทางเลขง่ายขึ้น เราจึงจำกัด

ในชั้นแรกนี้ให้อยู่แต่เฉพาะกับอิเล็กโตรดที่เป็นแผ่นแบนก่อน ซึ่งอาการ

กระจายของสนามไฟฟ้าในระหว่างอิเล็กโตรดที่กล่าวนี้ไม่คำนึงถึง ขอบ

เอาเสียทีเดียวว่า บรรดาอิเล็กตรอนที่แยกตัวออกมาจาก คาโทดนั้น

อยู่ภายใต้อิทธิพลของกำลังดันกริด และกำลังดัน อาโนดที่เป็นบวกโดย

เฉพาะ และเคลื่อนตัววิ่งเข้าไปอยู่ในกริด และอาโนดตามลำดับ

เราพิจารณาตามรูป ๔๘ ถึงอิเล็กเมนต์ อันอยู่ในห้วงว่าง

ระหว่างกริดกับคาโทด และอิเล็กเมนต์นั้นมีเนื้อที่เดิม F และส่วนหนึ่ง

เป็น dx อันประกอบด้วยไฟฟ้าประจุอยู่ $-dQ$ ดังนั้นเราจะได้ความแน่น

ของไฟฟ้าประจุห้วงว่าง (Space charge intensity) ณ ตำแหน่งเป็น

$$\rho = \frac{-dQ}{F \cdot dx} \quad (\text{Coulomb/cm}^3) \quad \dots \quad (79)$$

$-dQ$ นี้เป็นไฟฟ้าประจุเคลื่อนไหวก่อให้เกิดคลื่นวิทยุซึ่งพิจารณาถึงอิทธิพลของกำลังดันไฟฟ้าระหว่างกริดกับคาโทด อันจะได้จากกระแสไฟ I อันไหลเข้าไปสู่อิเล็กโทรด F ตรงตำแหน่ง x ในระยะเวลา dt เป็น

$$-dQ = I \cdot dt \quad \text{कुठोम्बु} \quad \dots \quad (80)$$

จากค่าของ $-dQ$ อันนี้ สมการ (79) ก็กลายเป็น

$$g = \frac{I \cdot dt}{F \cdot dx} \quad (\text{कुठोम्बु/चम.}^3) \quad \dots \quad (79a)$$

$$\text{เมื่อได้ค่าของความเร็ว} \cdot \frac{dx}{dt} = v \quad (\text{चम./व}) \quad \dots \quad (81)$$

คือ เป็นความเร็วที่ไฟฟ้าประจุ dQ เคลื่อนไหวก่อให้เกิดคลื่นวิทยุ ดังนั้นจึงได้ความแน่นของไฟฟ้าประจุ

$$g = \frac{I}{F \cdot v} \quad (\text{कुठोम्बु/चम.}^3) \quad \dots \quad (79b)$$

ใช้ค่าของความเร็ว v ในนามของไปเคนเขียนอันกระทำอยู่ที่ตำแหน่ง x (รูป ๘๘) ตามสมการ (22a)

$$v = 595 \cdot 10^5 \sqrt{U_a}$$

จะได้ความแน่นของไฟฟ้าประจุ

$$g = \frac{I}{F \cdot 595 \cdot 10^5 \sqrt{V}} \quad (\text{कुठोम्बु/चम.}^3) \quad \dots \quad (79c)$$

จากสมการนี้ จะได้กระแสไฟที่ไหลผ่านอิเล็กโทรดเป็น

$$I = 595 \cdot 10^5 \cdot g \cdot F \cdot \sqrt{V} \quad (A) \quad \dots \quad (82)$$

นำค่าของเนตค่าโทแทน F ได้ลงจะได้กระแสไฟอิมิตชันของหลอด
ซึ่งตามธรรมดาได้ด้วยการของ โปเตนเชียลกระจายแจกจ่ายอันเกิดจาก
ไฟฟ้าประจุห้องว่างนั้นออกเสีย

คราวนี้ถือเอาว่า ไฟฟ้าประจุที่กระจายแจกจ่ายนั้นอยู่ข้าง ๆ กริด
และเฉียดเข้ามาเสมอกัน จึงได้กระแสอิเล็กตรอน อันถูกจับไว้ด้วยกริด
จาก (82) เมื่อใส่ค่าของ $F = F_g$ และ $V = U_g$ ลง

$$I = 595 \cdot 10^5 \cdot g \cdot F \sqrt{V} \quad (A)$$

$$I_g = 595 \cdot 10^5 \cdot g \cdot F_g \sqrt{V} \quad (A) \quad \dots \dots (83)$$

ส่วนที่เหลือคืออิเล็กตรอนที่บินผ่านช่องว่างของกริดทำให้เกิดเป็นกระแส
โฟอาโนด I_a กระแสโฟอาโนดที่วัดได้จะได้จากสมการ I_a เมื่อใส่ค่าสำหรับ
 F แทนด้วยเนตค่าช่องว่างของกริด $F_{o''}$ และสำหรับ V แทนด้วยกำลัง
โปเตนเชียลต่ำแดงผล $U_a \cdot \frac{b}{a}$ ซึ่งกระทำอยู่ที่ช่องว่างของกริด จะได้

$$I_a = 595 \cdot 10^5 \cdot g \cdot F_{o''} \cdot \sqrt{\frac{b}{a}} \cdot \sqrt{U_a} \quad (A) \quad \dots \dots (84)$$

ภายใต้การสมมติที่กล่าวนี้ จะได้ความแน่นของไฟฟ้าประจุ g บนแผ่นของ
กริดทั้งหมดสม่ำเสมอเท่ากันตลอด จาก (83) กับ (84) นี้จะได้
อัตราส่วนของกระแสไฟ

$$\frac{I_a}{I_g} = \frac{F_g}{F_{o''}} \cdot \sqrt{\frac{a}{b}} \cdot \sqrt{\frac{U_g}{U_a}} \quad \dots \dots (84)$$

เมื่อรวมขนาดต่าง ๆ ที่หลอดมีเหมือนกันเข้าเป็นชุดเดียวกันเสีย แล้ว
กำหนดแทนด้วย

$$K_1 = \frac{F_g}{F_o} \cdot \sqrt{\frac{a}{b}} \dots \dots \dots (85)$$

ก็จะได้

$$\boxed{\frac{I_g}{I_a} = K_1 \cdot \sqrt{\frac{U_g}{U_a}}} \dots \dots \dots (85a)$$

อันเป็นสูตรที่ได้จากการทดลองกำหนดค่าตัวเกณฑ์ของการแจกกระจายกระแสไฟฟ้าหมดทุก (TANK) เมื่อใช้กฎแห่งการแยกกระจายกระแสไฟ (78) เข้าช่วย

$$I_e = I_g + I_a \text{ แล้วจะได้ } \cdot$$

กระแสไฟที่ออกจากอาโนดเป็น

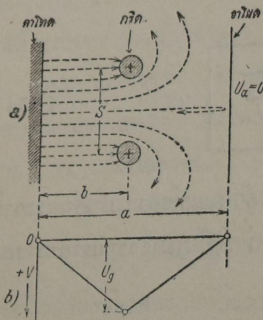
$$I_a = \frac{I_e}{1 + K_1 \sqrt{U_g/U_a}} \dots \dots \dots (87)$$

B) กฎแห่งการแจกกระจายกระแสไฟของเบโลว์ (Below)

$$(U_a < U_g)$$

กฎแห่งการแจกกระจายกระแสไฟของเบโลว์นี้ยึดตัวออกไปในทางตรงกันข้ามกับกฎของทั้งค ในเรื่องกำลังดันของอาโนด คือถ่วงถึงคนที่กำลังดันอาโนดน้อยกว่ากำลังดันกริด บรรดาอิเล็กตรอนหลังจากที่ผ่านกริดไปแล้วนั้น มีสนามที่หน่วงเหนี่ยวทำให้ช้าลงจะต้องวิ่งผ่านอีก คือจะถูกตัวเส้นลวดตาข่ายกริดที่เบี่ยงบังคับให้เลไปทางขึ้นๆ แล้วทำให้วงเดินของอิเล็กตรอนเกิดเป็นเส้นโค้งรูปพาราโบลาขึ้น สำหรับ $U_a = 0$

๒๕ การถูกดึงไปทางข้างมีแรงมาก จนกระทั่งจำนวนสูงสุดของอิเล็ก



รูป ๑๐๐ แสดงให้เห็นการแจก
กระจายของกระแสไฟ
(a) แสดงวิถีบิน อิเล็กตรอน
(b) แสดงการแจกกระจายของ
ไปเตนเซิล

ตรอนที่บินผ่านช่องของกริดไปสู่กริด
๒๕ บาง ส่วน บินวกกลับคืนเข้าไปยัง
คาโทดอีก (รูป ๑๐๐) ความเร็วแยก
ตัวของอิเล็กตรอน ออกจากคาโทด
๒๕ ข้อคัดออก ไม่คิด เข้ามา เกี่ยวด้วย
ฉะนั้นจึงทำให้บรรดาอิเล็กตรอนที่บิน
ในทิศเส้นตรงมีจำนวนส่วนน้อยไปสู่
อาโนดวกกลับเสียก่อนที่จะถึงอาโนด
๒๕ คือ หมายความว่า กระแสไฟคาโนด
สำหรับ $U_a = 0$ นั้นจะเป็นศูนย์ด้วย
๒๕ จุติยวกัน

ถ้ารับอากรที่กล่าวมาแต่ข้าง

๒๕ คนนี้ คืออาการกระจายแจกจ่ายของ กระแสไฟสถิตย์ภายใต้เกณฑ์
จำกัดเป็นชุดที่กำหนดให้ ๒๕ เพราะอย่างยิ่ง ในการคัดอากรไฟฟ้าประจุ
๒๕ และความเร็วดันของอิเล็กตรอนออกเสีย ๒๕ เบลูได้พบกฎแห่งการรับ
ช่วงกระแสไฟ (Stromübernahmegesetz) เป็น

$$\frac{I_a}{I_e} = K_2 \cdot \sqrt{\frac{U_a}{U_g}}$$

.. .. (88)

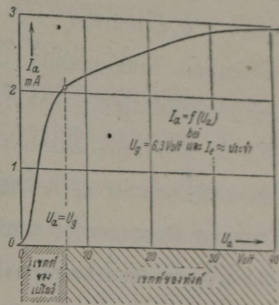
ในทันที K_2 เป็นตัวประจำค่าคงที่เหมือนกับตัวประจำ K_1 ของกฎทั้งคู่อันเป็นตัวประจำที่ขึ้นอยู่กับขนาดทางขั้วของอิเล็กโทรดภายในหลอดสำหรับอิเล็กโทรดที่เป็นแผ่นแบนจะได้ค่าอันใกล้เคียงเป็น

$$K_2 = p \cdot \frac{4b(a-b)}{s \cdot a} \quad \dots \dots \dots (89)$$

ความหมายของขนาดต่าง ๆ ในทันที คือ

a, b และ s ได้จากรูปที่กำหนดให้ในรูป ๑๐๐ ส่วนแฟกเตอร์ p นี้ ตามปกติมีค่าน้อยกว่า 1 เสมอ คือเป็นตัวแฟกเตอร์พิจารณาถึงอาการที่กระทบเอาอิเล็กตรอนไว้

เขตที่จะใช้กฎเบโดว์ได้ถูกต้องแค่ใดนั้น จำกัดตัวตามกำลังดันของฮาโนด ซึ่งน้อยกว่ากำลังดันของกริด ในเขตใกล้เคียง $U_a = U_g$ นี้ อาการเฉไปทางข้างของอิเล็กตรอนที่กริดนั้นน้อยเต็มที่ อันเห็นได้ว่าอาการตามกฎของเบโดว์นั้นไม่แสดงความสำคัญอย่างใดต่อไป ณ ที่กฎของทั้งคู่นี้ใช้ได้ถูกต้องดี เขตกำหนดใกล้เคียงที่กฎทั้งสองนี้จะใช้ได้แค่



รูป ๑๐๑ แสดงการแบ่งเขตของการแจกจ่ายกระแสไฟตามกฎเบโดว์และกฎทั้งคู่อัน (ผลที่ทำการวัดของหลอดที่ใช้ขั้วหลอดอันคาโทดให้ร้อนอย่างอ่อน)

ได้นั้นแสดงอยู่ตามรูป ๑๐๑ แล้ว กฎทั้งสองนี้ต่างก็มีได้คิดถึงอาการไฟฟ้า
ประจุเช่นเดียวกัน ฉะนั้นจะใช้ได้ก็แต่เฉพาะในหลอดที่ทำงานอยู่ภายใน
ในเขตกระแสน้ำไอ้มั่ว เขตเบี่ยงเบนของกฎเบโตวั้นตามทางใช้การ
โดยปกตินี้กำหนดเอาตอนกระแสไฟเริ่มเดินเป็นเขตคัสต์

๖) การแจกกระจายกระแสไฟตามกฎของลังเง (LANGE)*

$$[U_a = U_g]$$

ในเรื่องหลอดไตรโอดอันมีกระแสไฟกริด ได้สมการ $I_c = I_g + I_a$
นี้ เราพิจารณาอาการเหล่านี้มาด้วยสองลักษณะ ตามกฎของทั้งคัสต์
คือเมื่อ $U_a > U_g$ ลักษณะหนึ่ง และตามกฎของเบโตวั้น เมื่อ $U_a < U_g$
อีกลักษณะหนึ่ง ทั้งสองลักษณะนี้เป็นเรื่องพิจารณาถึงอาการของเส้น
โค้งลักษณะหลอดไตรโอดในเขตคัสต์กริดเป็นบวกด้วยกันทั้งนั้น แต่ยังมีได้
พิจารณาถึงอาการของการแบ่งแจกกระแสไฟ (Current division) ของ
หลอดไตรโอดอิเล็กโตรดแบน ในเมื่อกำหนดคัสต์กริดและที่ขานโนตเป็นบวก
เท่าๆ กัน คือ $U_g = U_a$ ว่าวิถีอิเล็กตรอนฝ่ายแรง (Critical Electron
path) สำหรับกำหนดคัสต์กริดและที่ขานโนตเท่ากันนั้นจะเป็นอย่างไร นักท
ดองชาวเยอรมันคือทั้งคัสต์และลังเง (LANGE)† ได้ยอมรับหลักแล้วว่า

* Karl Spangenberg "Current Division in Plane-Electrode Triodes," Proc. of the I. R. E. vol. 28 No. 5 May 1940

† H. Lange, "Die Stromverteilung in Dreielektrodenröhren und Ihre Bedeutung für die Messung der Voltaspannung," Zeit. für Hochfrequenz, Juni 1928.

กระแสไฟระหว่างอาโนดและกริดสำหรับหลอดไตรโอดที่กำหนดให้ เป็น
ฟังก์ชันของอัตราส่วนแห่งกำลังดันอาโนดและกำลังดันกริดเท่านั้น และได้
พบความจริงว่า การแจกแบ่งกระแสไฟมีชั้นไม่ให้แก่กริดและอาโนด
เมื่อไม่มีอาการอิมมิชชันเซกันดาร์แล้ว ก็จะได้ความสัมพันธ์กันใกล้เคียง
เป็นสมการ

$$\boxed{\frac{I_a}{I_g} = \delta \left(\frac{U_a}{U_g} \right)^{\frac{1}{2}}} \quad \dots \dots \dots (90)$$

ในเมื่อ I_a และ I_g เป็นกระแสไฟอาโนดและกระแสไฟกริด กับ U_a
และ U_g เป็นกำลังดันอาโนดและกำลังดันกริดตามลำดับ ไมแอซ
(Myers) ชูเวิร์ทท (Everitt) และซังเกนแบร็ก (Spangenberg)
ได้ทำการทดลองพิสูจน์สอบส่วนดูลค่าของกำลังดันในสมการ (90) ของ
หลอดไตรโอดทั้งหลาย ก็ปรากฏผลว่าอยู่ในย่าน $\frac{1}{2}$ ทั้งสิ้นและตัวโค
เอฟิเชียน δ นี้ ขอบัญญัติให้เรียกว่า “แฟกเตอร์แจกจ่ายกระแสไฟ
(Current division factor)” โดยเหตุที่แฟกเตอร์ δ นี้ เป็นตัวแสดง
อัตราส่วนกระแสไฟกริดต่อกระแสไฟอาโนด ในเมื่อกำลังดันกริดและ
ที่อาโนดเท่ากัน จึงมีค่าต่าง ๆ กันตามแต่ละชนิดของหลอด

เทลเลเกน (Tellegen) ยังได้แสดงผลทาง ทฤษฎีแห่งอัตราส่วน
ของกระแสไฟอาโนดกับกระแสไฟกริดออกเป็นสูตรทำนองเดียวกันกับ
(90) อีกเหมือนกันคือ

$$\frac{I_a}{I_g} = \frac{a}{2r_g} \sqrt{\frac{U_a + \mu U_g}{U_g \left(\frac{h+f}{f} + \mu \right)}} - 1 \quad \dots \quad (91)$$

ในเมื่อ r_g เป็นรัศมีของเส้นลวดกริด

a เป็นระยะห่างระหว่างเส้นลวดกริด

h เป็นระยะระหว่างกริดกับคาโนด

f เป็นระยะระหว่างกริดกับคาโทด

เครื่องหมายกำหนดขนาดต่าง ๆ นี้ (Tellegen) ได้วางเกณฑ์อันคล้ายกับที่ (Schottky) ใช้ในการคำนวณหาตัวขั้วกริฟฟ์ เพื่อให้ได้สมการของเทตเลเจนเข้ารูปกับเครื่องหมายกำหนดขนาดของ ขอตทุกตัว จึงขอเทียบค่าเท่ากันไดดังนี้

Tellegen	Schottky
r_g	$\frac{d}{2}$
a	g
h	$(a-b)$
f	b
μ	$\frac{1}{D}$

เพราะฉะนั้นจึงอาจแปลงสมการความเข้มพื้นผิวของเทตเลเจนให้

เป็นรูป

$$\frac{I_a}{I_g} = \frac{g}{2 \cdot \frac{d}{2}} \sqrt{\frac{U_a + \mu U_g}{U_g \left(\frac{(a-b) + b}{b} \right) + \mu}} - 1$$

$$\frac{I_a}{I_g} = \frac{g}{d} \sqrt{\frac{U_a + \mu U_g}{U_g \left(\frac{a}{b} + \mu \right)}} - 1$$

$$\frac{I_a}{I_g} = \frac{g}{d} \cdot \sqrt{\frac{U_a + \frac{1}{D} \cdot U_g}{U_g \left(\frac{a}{b} + \frac{1}{D} \right)}} - 1$$

$$\frac{I_a}{I_g} = \frac{g}{d} \sqrt{\frac{U_g + D \cdot U_a}{U_g + \frac{a}{b} \cdot D U_g}} - 1$$

ถ้าให้เลข $\sqrt{\frac{U_g + D \cdot U_a}{U_g + \frac{a}{b} \cdot D \cdot U_g}}$ มี $\frac{U_a}{U_g} = \frac{a}{b}$ คือ

กริดได้รับไปเคนเซียดตามธรรมชาติแล้ว ก็จะกลายเป็น

$$\sqrt{\frac{U_g + D \cdot U_a}{U_g + \frac{U_a}{U_g} \cdot D \cdot U_g}} = \sqrt{\frac{U_g + D \cdot U_a}{U_g + D \cdot U_a}} = 1$$

ฉะนั้นจึงกำหนดให้เป็น

$$\frac{I_a}{I_g} = \frac{g}{d} - 1 \quad \dots \dots \dots (92)$$

สมการข้างบนนี้เอง (Lange) เป็นผู้กำหนดให้ใช้ และสมการนี้ใช้ได้ถูกต้อง ในเมื่อการเคลื่อนไหวของอิเล็กตรอนจากคาโทดไปสู่อกริดและไปสู่อานอดไปด้วยวิถีอันเป็นแนวเส้นตรง และเมื่อกริดมีไปเคนเซียดตามปกติ (Natural grid potential)

สำหรับตัวเฟคเตอร์ $\delta = \left(\frac{I_a}{I_g}\right) U_a = U_g$ นี้ ผู้ตรวจนัก
ทดสอบหลายท่านได้แสดงค่ามาต่าง ๆ กัน ซึ่งใครจะรอนำมากอ้างได้
ในทันทีด้วยว่า หอดูดอเมริกัน 210 นั้นมีค่าสำหรับ $\delta = \left(\frac{I_a}{I_g}\right)$
เมื่อ $U_a = U_g$ นั้นเป็นอย่างไร

ผู้ตรวจของ Tellegen ได้ $\delta = 8,77$

,, Lange ,, $\delta = 5,69$

,, Spangenberg ,, $\delta = 6,25$

ที่ทำการวัดมาได้จริง ,, $\delta = 6,5$

ค่าของ δ ที่ได้นี้ เป็นเครื่องแสดงให้เห็นอยู่แต่ว่า ผู้
ของท่านเหล่านั้นไม่ถูกต้องทีเดียว ทั้งนี้เนื่องจากเหตุผลที่ว่าตัวกลาง
ของผู้ตรวจเป็นค่าประจำอย่างใกล้เคียงเท่านั้น และอาจลืมคิดให้ค่า
ต่าง ๆ สูงไปจนถึง $\frac{3}{4}$ สำหรับอัตราส่วนของโปเตนเชียลบางค่า ที่นำเอา
ผู้ตรวจเหล่านั้นมากอ้างก็เพื่อเป็นแนวแสดงให้เห็นทางทฤษฎีของสมการ (90)
ว่าอาจนำไปใช้การได้ผลเป็นที่ยอมรับความต้องการในการนี้ต่าง ๆ
ได้เท่านั้น

ค. การแจกกระจายของกระแสไฟโดยการแตกเปลี่ยนข้อแตกต่าง
เชิงกันดาร

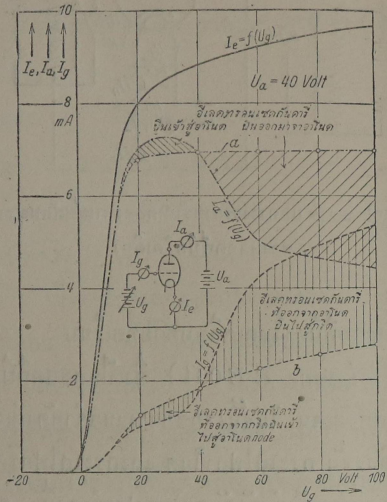
๕) หลักทั่วไป

หลักแห่งการคำนวณการแจกกระจายของกระแสไฟเมื่อมีเกิดการ
การแตกเปลี่ยนแห่งข้อแตกต่างเชิงกันดารนั้น ไม่สามารถเป็นได้ เพราะ

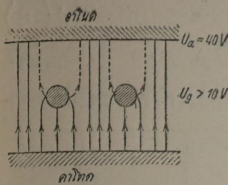
โค้งลักษณะตามการทดลองที่ได้มานี้คือ เส้นโค้งลักษณะ $I_a = f(U_g)$ และ $I_g = f(U_g)$ ดังที่เห็นได้จากรูป ๑๐๓ นี้ ผิดแผกไปจากเส้นที่ได้ตาม

หลักคำนวณในกฎ ทั้งสอง
ดัง กล่าว แล้ว เป็น อัน มาก
เหตุที่ทำให้เกิดการผิดแผก
แตกต่างกันเกิดจากการแตก
เปลี่ยนแห่ง อิเล็กตรอนเซ
กันดาร์ระหว่าง กริด กับคา
โนด ตามหลักของอิเล็ก
ตรอนเซกันดาร์ที่กล่าวมา
แล้วปรากฏว่า อิเล็กตรอน
เซกันดาร์แยกตัวออกจาก
โคหระของอิเล็กโทรดที่เป็น
ผู้รับจับอิเล็กตรอนนั้น เมื่อ
ความเร็ว กระทบ ของ อิเล็ก
ตรอน สูง กว่า 10 โวลต.
ถ้าหับ กำลังดัน กริด ที่สูง
กว่า 10 โวลต. ลักษณะที่

ว่านกับงเกิดขึ้นได้ อิเล็กตรอนไฟรมาริซึ่งวิ่งเข้ากระทบกับกริด ฉะเพาะ
อย่างย่งในทิศที่เฉลี่ยกับพนของกริด ย่อมจะทำให้เกิดมีอิเล็กตรอนเซ
กันดาร์แยกตัวออกมาได้ตามรูป ๑๐๔ ซึ่งแสดงให้เห็นอาการนี้ อิเล็กตรอน



รูป ๑๐๓ แสดงให้เห็นการแจกกระจายของกระแส
ไฟโดยมีการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนเซกันดาร์
(RE 064, $U_H = 3,4$ โวลต., $I_H = 0,072$
แอมแปร์.)



รูป ๑๐๔ แสดงรูปอธิบาย
อาการที่อิเล็กตรอน เซกกันดาร์
ออกจากกริด
(—) วิถีบินของอิเล็กตรอนโพ
นารี
--- วิถีบินของอิเล็กตรอนเซกกัน
ดาร์)

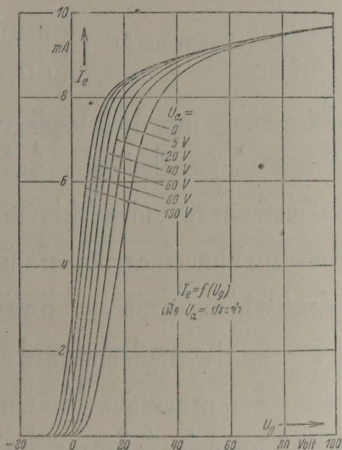
โค้งที่ทำการทดลองหาว่าได้นั้นโดยชัดเจน ส่วนครั้งที่ $U_g = U_A$ อันเป็น
รายการทดสอบเลือกเอาเป็นตัวอย่าง ซึ่งมีกำลังดันเป็น 40 โวลต์ การ
แตกเปลี่ยนอิเล็กตรอนเซกกันดาร์ไม่อาจบังเกิดขึ้นได้ ทั้งนี้เนื่องจาก
ความต่างของโปเตนเชียลระหว่างกริดกับอาโนดไม่มันนเอง ณ ทิศ
ของทั้งคู่ใช้ได้เช่นเดียวกัน สำหรับกำลังดันกริดที่สูงกว่ากำลังดัน
อาโนด ทิศแห่งการเคลื่อนไหวนของอิเล็กตรอนเซกกันดาร์จะเปลี่ยนกลับ
ตรงข้าม อิเล็กตรอนเซกกันดาร์ซึ่งออกมาจากอาโนดจะบินเข้าไปสู่กริด
โดยที่ก้างดันโปเตนเชียลกริดสูงกว่าที่อาโนด การแจกกระจายกระแส
ไฟตามกฎของทั้งคู่ (เส้นโค้ง a และ b) จะลดจำนวนกระแสไฟอาโนด
ที่วัดได้ให้ต่ำลง และกระแสไฟกริดที่วัดได้ก็สูงขึ้น จากรูป ๑๐๓ สำหรับ
 $U_g > 40$ โวลต์นั้นมองเห็นได้อย่างชัดเจน

เซกกันดาร์นั้นถูกก้างดันจากอาโนดดูดเข้า
ไปหาตัวโดยที่ก้างดันไฟฟ้าที่อาโนดสูง
กว่าก้างดันที่กริด จึงทำให้มันจาก
กริดไปหาอาโนด การแจกกระจายของ
กระแสไฟตามขรรณศา (เส้นโค้ง a และ
b) นี้จะต้องทำให้กระแสไฟอาโนดที่สูง
ขึ้นและกระแสไฟกริดลดน้อยลง ซึ่ง
สำหรับก้างดันกริดระหว่าง $U_g = 10$
กับ $U_g = 40$ โวลต์นั้น เห็นได้จากเส้น

กระแสไฟอิมิตชัน I_e กับกฎแห่งการแยกสาขาของกระแสไฟ (78) จะไม่เกี่ยวข้องกับอาการที่กล่าวมาแล้วข้างต้นแต่อย่างใด อันมีข้อพิสูจน์ให้เห็นได้ว่าการแตกเปลี่ยนอิเล็กตรอนเซกนิตารีนจากดวงอยู่เฉพาะกับอิเล็กโทรด คือที่กริดและท่ออาโนดเท่านั้น

β) หุ้มเส้นโค้งลักษณะ

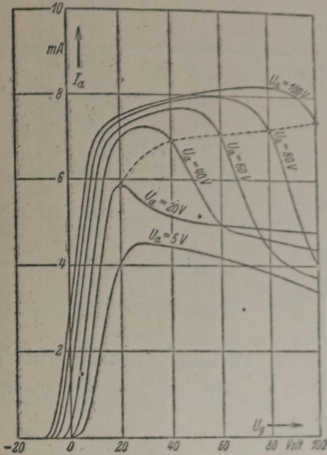
เพื่อให้เห็นถึงความสัมพันธ์แห่งกระแสไฟ I_e , I_a และ I_o ที่ขึ้นอยู่กับกำลังดันกริดและกำลังดันอาโนดให้ชัดแจ้งยิ่งขึ้น จึงนำเอาหุ้มเส้นโค้งลักษณะที่ทำการทดลองวัดหามาได้แสดงให้เห็น รูป ๑๐๕ แสดงให้เห็นรูปของเส้นโค้งอิมิตชัน $I_e = f(U_g)$ สำหรับกำลังดันอาโนดต่างๆ จากหุ้มเส้นโค้งนี้จะรู้ได้ อีกดังที่แสดงมาแล้วแต่ก่อน จากกฎไฟฟ้าประจุหุ้มว่างน เส้นโค้งลักษณะจะเกิดอนัตวิธานกัน อยู่ในเขตไฟฟ้าประจุหุ้มว่าง



ในการยกเว้นพิเศษ ได้หาเส้นโค้งลักษณะสำหรับ $U_a = 0$ ได้ด้วย เส้นลักษณะเส้นนี้มีรูปลาดกว่าเส้นอื่นๆ . ค้นหาค่า

รูป ๑๐๕ แสดงกระแสไฟอิมิตชันของ $I_e = f(U_g)$ ตลอดที่ค่าโหนดเคลื่อนที่รอบเริ่ม ($RE\ 064$, $U_H = 3,4$ โวลต์, $I_H = 0,072$ แอมแปร์.)

ให้เส้นโค้งนั้นตัดเป็นด้วยอาการตั้งก่าแล้วในคอน ๘ หมวด ๕ (γ)
หน้า ๑๘๓ ซึ่งเกิดจากการที่ทำให้ค่าประจำไฟฟ้าประจุห้วงว่าง K ลดน้อย
ลงและการนำแรงในเมือกกำลังคั้นฮาโนโตใกล้เคียงที่จะเป็นศูนย์



รูป ๑๐๖ แสดงกระแสไฟฟาโนด $I_a = f(U_g)$

ของหลอด RE 064

กำลังที่กริดไปกระทบกับฮาโนดด้วยมุมเฉียง ฉะนั้นเพียงด้วยความเร็ว
กระทบของอิเล็กตรอนที่ต่ำกว่า 10 โวลต์ก็บังเกิดมีอิเล็กตรอนเซกนดารี
แยกตัวออกจากฮาโนด ตามกฎของทั้งคู่นั้นได้แสดงเส้นโค้งเป็นเส้นขาด
ยึดออกไป ตั้งแต่จุด $U_g = U_a$ คือแสดงลักษณะตั้งแต่ $U_a = 20$ โวลต์
ไปถึง $U_a = 100$ โวลต์ สำหรับ $U_g < U_a$ ทำให้กระแสไฟฟาโนดทุก
ตัวขึ้น สำหรับ $U_g > U_a$ ทำให้กระแสไฟฟาโนดลดค่าลง อาการตาม

รูป ๑๐๖ แสดงเส้นโค้ง

ลักษณะของกระแสไฟฟาโนด
อันสัมพันธ์อยู่กับกำลังคั้นกริด
 $I_a = f(U_g)$ โดยรักษาให้
กำลังคั้นฮาโนดประจำ จาก
เส้นลักษณะสำหรับ $U_a = 5$
โวลต์ดูได้ว่า อาการขึ้น
เซกนดารีที่ฮาโนดนั้นบังเกิด
ขึ้นตั้งแต่เมื่อกำลังคั้นฮาโนด
ค่าๆ หนึ่ง ที่เป็นเช่นนี้ก็โดยที่
อิเล็กตรอนเมื่อ $U_g > U_a$ ถูก
อาการตั้งให้เหวี่ยงไปทางข้างจาก

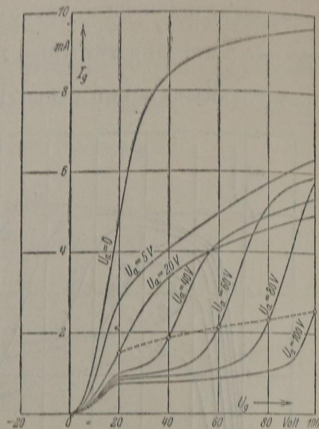
รูปเส้นโค้งนี้ชี้ให้เห็นว่าเมื่อ $U_o < U_a$ นั้น บังเกิดมีการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนเช่นกันดังจาก กริดไปสู่คาโนด และเมื่อ $U_o > U_a$ มีการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนเช่นกัน ดังตรงกันข้าม คือจากคาโนด ไปสู่กริด

อัตราส่วนของกระแสไฟฟักริด ที่เป็นไปตามทำนองนี้ แสดงให้เห็นด้วย หมู่เส้นโค้งลักษณะ $I_o = f(U_o)$ โดย U_a มีค่าประจำอยู่ตามรูป ๑๐๗ เส้นโค้งซึ่งแสดงด้วยเส้นขีดคั่นของจุดต่าง ๆ

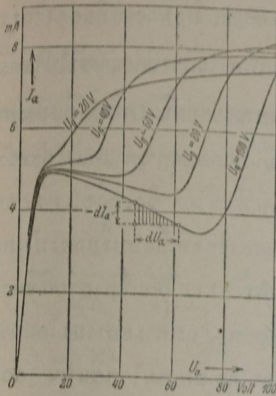
$U_o = U_a$ ในที่นี้แสดงเป็นไปตามอาการของกฎทั้งค

๔) เส้นโค้งลักษณะที่ย้อยลง

เมื่ออิเล็กตรอนเช่นกันดังวี่ ณ อิเล็กโทรดอันหนึ่ง อันใดของอิเล็กโทรดทั้งสองนั้นทวนตามส่วนกับกำลังดัน อาการที่อิเล็กตรอนเช่นกันดังวี่เพิ่มเติมทวนกันทำให้กระแสไฟของอิเล็กโทรดนั้นลดต่ำลงได้ แม้ว่าจะทำให้กำลังดันที่อิเล็กโทรดนั้นทวนกันก็ตาม เส้นโค้งลักษณะชนิดนี้กำหนดให้เรียกว่า “เส้นโค้งลักษณะที่ย้อยลง” (Fallende Kennlinie) เขียนเส้นโค้งลักษณะของกระแสไฟคาโนดอันสัมพันธ์กันอยู่



รูป ๑๐๗ แสดงกระแสไฟฟักริด $I_o = f(U_o)$ ของหลอด RE 064



รูป ๑๐๘ แสดงเส้นลักษณะกระแสไฟฟ้านิวท $I_a = f(U_a)$ ที่ขั้วของ ข่องหลอด RE 064

กำลังดันขานิวทโดยรักษาให้กำลังดันกริดมีค่าประจำดังในรูป ๑๐๖ ก็จะได้หุ้มเส้นโค้งลักษณะ $I_a = f(U_a)$ โดย U_g มีค่าประจำตามรูป ๑๐๘ จากสนามของเส้นโค้งดังกล่าวนี้ จะเห็นความย้อยตัวของเส้นโค้งต่ำลงสำหรับ $U_g = 60, 80$ และ 100 โวลต์ ความความย้อยตัวตามอย่างไร ความชันและความดันของส่วนที่ยอยตกลงในเส้นโค้งลักษณะนี้มีค่าเป็นลบทั้งนี้เนื่องด้วยอาการของกำลังดันตัวเพิ่มขึ้นเป็น ΔU_g แล้วความกระแสไฟฟ้าน้อยลง $-\Delta I_a$ ฉะนั้นจึงกำหนด

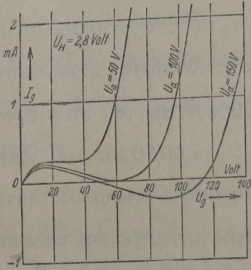
เรียกความต้านทานปกตเป็นความต้านลบ อันหาได้จากรูป ๑๐๘

$$R_{ian} = - \frac{\Delta U_g}{\Delta I_a} \text{ โดย } U_g \text{ ประจำ} \dots (93)$$

ความต้านลบนี้อาจถือเป็นอันดับแรกกับความดันที่เบี่ยงจากได้ ทั้งความต้านลบนี้นอกจากการเป็นลบเพื่อใช้สำหรับกระตุ้นอาการกลดออกได้ด้วยอาการที่จะสามารถเป็นไปได้ดังกล่าวนี้ ท่าน H. A. W. Hull เป็นคนแรกที่แสดงให้เห็น และได้้นำเรื่องนีลงในหนังสือ Jb. drahtl. Telegr.

14 (1919) 47, 157.

เส้นโค้งลักษณะกระแสไฟฟักริต $I_g = f(U_g)$ ตามที่แสดงในรูป ๑๐๗ นั้น อาการอิมิชชันเชกกันดาร์มีค่าน้อยมาก ในการที่จะนำเข้าไปใช้กับ

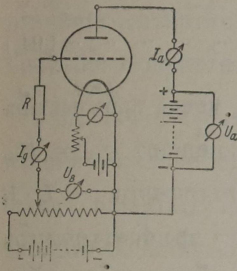


รูป ๑๐๘ แสดงเส้นลักษณะที่ข้อยอล I_g , U_g ของหลอดที่ใช้คาโทดเคลือบด้วยท่อเรียบ (RE 154, $U_H = 2,8$ โวลต์)

เส้นลักษณะนี้ ความเอียงจะคงตัวเป็นวงอยู่ทุกๆค่าแห่ง สำหรับหลอดที่มีคาโทด ซึ่งเกิดอิมิชชันด้วยท่อเรียบและคาโทดที่เป็นบาเรียบจะบังเกิดขึ้นเป็นวงครว โดยเนื่องจากวิธีการสร้างหลอด เพราะอย่างยิ่งโดยการทำให้คาโทด มีความไวต่ออุณหภูมิ ส่วนเล็กๆของขั้วต่อหลอดรอนแยกตัวออกมาตรงกริดนั้นจะตกค้าง อาการอิมิชชันเชกกันดาร์ ของ กริดในหลอดภายใต้ลักษณะอันนี้จำนวนมากจนทำให้

เกิดมีอาการเส้นโค้งลักษณะกระแสไฟฟักริตย้อยตกลง ในรูป ๑๐๘ เป็นเส้นโค้งลักษณะกระแสไฟฟักริตของหลอดที่แสดงให้เห็นอาการอิมิชชันอย่างแรงอยู่ทุกกริด (จากจำนวนหลอดหลายๆหลอดจะเห็นได้ว่าอาการอันนี้จะมีแรงมากเป็นพิเศษในหลอดที่ใช้คาโทดหุ้มด้วยท่อเรียบ RE 154) สำหรับกำลังดันอาโนด $U_a = 100$ และ 150 โวลต์ จะเห็นได้โดยแจ่มแจ้งว่า อาการที่เส้นโค้งย้อยตกลงนั้นค่อนข้างมีความอ่อนตัวต่างกัน อย่างไรก็ตามเมื่อใช้ความต้านต่อเข้าในวงจร ที่กริดอันมีค่าสูงๆ ก็ย่อมทำให้เกิดมี

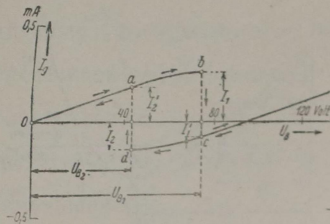
อาการก่อกวนอย่างฟันเลื่อย (Saw tooth oscillation) บังเกิดขึ้นได้ คราว
 นี้เอาค่าดังคันเบตเตอร์บวก U_B ต่อเข้าที่ความต้าน R อันต่อไปเป็นอันดับ
 อยู่กับวงไฟกริดดังที่แสดงอยู่ตามรูป ๑๑๐ แล้วจะได้ทางเดินของเส้นโค้ง
 กระแสไฟ $I_g = f(U_B)$ ดังที่แสดงอยู่ในรูป ๑๑๑ การแสดงให้เห็น



รูป ๑๑๐ แสดงวงจรสำหรับ
 ใช้ทำการสืบสวนอาการฟันเลื่อย
 ของหลอดที่มีเส้นลักษณะกระแส
 ไฟกริดข้อยต่ำลง

กริดลบ I'_g และอาการของ
 กระแสไฟลบนี้ จะทวีต่อไป
 ราวนี้ เมื่อตัดจำนวนกำลัง
 คันเบตเตอร์ให้น้อยลง แล้ว
 กระแสไฟกริดก็จะตดน้อยลง

อาการเปลี่ยนทางกระโจนของกระแสไฟ
 กริดได้ เมื่อทวีกำลังคันของเบตเตอร์ U_B
 ให้สูงขึ้น ในขั้นแรกกระแสไฟกริดจะ
 เพิ่มขึ้นจาก O ไปถึง a ครั้นทวีกำลังคัน
 ของเบตเตอร์ต่อไปอีก กระแสไฟกริด
 จะกระโจนจาก b ลงไปยัง c คือจาก
 กระแสไฟกริดบวก I_g ลงไปเป็นกระแสไฟ



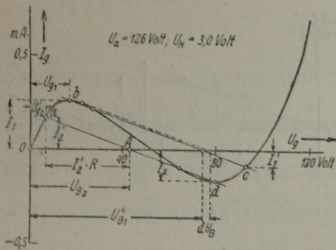
รูป ๑๑๑ แสดงเส้นโค้งลักษณะฟันเลื่อย
 ของหลอดที่มีเส้นลักษณะ กระแสไฟกริด
 ข้อยต่ำลง (RE 154)

คือจากจุด d กระโดดขึ้นทันทีไปสู่ a คือจากกระแสไฟกริดบวก I_2 ไปยังกระแสไฟกริดบวก I_3

เพื่อจะอธิบายอาการที่กล่าวนี้ให้เข้าใจ จำเป็นจะต้องตั้งต้นไปจากวงไฟของรูป ๑๑๐ และคำนวณหาค่าดังดินที่กระทำอยู่ทุกกริด คือ U_g อันจะได้จากสมการ

$$U_g = U_B - I_g \cdot R \quad \dots \dots \dots (94)$$

ดังนั้น การที่จะทำให้ค่าดังดินแบคเตอร์ U_B น้อยลง ณ ที่นั้นจึงคงเป็นจำนวนค่าดังดินตก $I_g \cdot R$ นั้นเอง เมื่อเราเลือกเอา $U_B = U_{B2}$ แล้วเขียนค่าอันนี้ลงในรูป ๑๑๒ และลากเส้นตรงความต้าน $-I_g \cdot R$ ให้ผ่านจุด A ก็จะทำให้สมการ สำหรับจุดตัด a ของเส้นตรงความต้าน ตัดกับเส้นลักษณะกระแสไฟ $I_g = f(U_g)$ เป็นผลสัมจริง จุดตัด a



รูป ๑๑๒ อธิบายปรากฏการณ์ แห่งการ
ถลอกเป็นพื้นเลื้อยของหลอดที่มีเส้นโค้งลักษณะ
กระแสไฟกริดขั้วต่ำลง (RE 154)

นี้เป็นจุดทรงตัว (Stabil)
เราท้าวค่าดังดินแบคเตอร์ให้
ดังขึ้นเป็น U_{B1} แล้วจุดตัดก็
เคลื่อนตัวเลื่อนไปอยู่ระหว่าง
เส้นตรงความต้าน กับเส้น
ลักษณะกระแสไฟกริดใน
จุด b และจะเป็นจุดแกว่ง
(Labil) คราวนั้นเมื่อกำลัง
ดินแบคเตอร์เปลี่ยนค่าไปเป็น

จำนวนเล็กน้อย (ตัวอย่าง dU_B) แล้วกระแสไฟของจุดตก ϕ ไม่ทรงค
อยู่ได้ต่อไป จึงกระโจนเข้าไปยังกระแสไฟของจุดตก c และตรงจุด
จะทรงตัวอยู่ได้อีก ดังที่ควรสังเกต ณ ที่นี้ก็คือว่า ถ้าตั้งคนทำอย่าง
กริตสูงกว่ากำลังคั้นของแบคเตอร์ ซึ่งอาการอันนั้นอาจเห็นได้โดยอาศัย
สมการ 94 เมื่อคิดว่ากระแสไฟกริต (I_1') กลายเป็นลบ ภายในวงไฟ
กริตนั้นหลุดจะทำหน้าที่อย่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้า อันมีกำลังงานที่ส่ง
ย้อนไปให้จากแบคเตอร์อาโนด

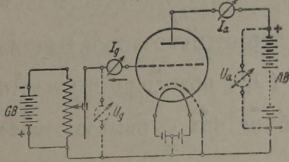
คราวนี้ถ้ามองถึงลักษณะของแบบเตอร์ให้ต่างออกไปจะทำให้กระแสไฟ
กริดตกคงตัวหรือทรงตัวอยู่ (Stabil) จนถึงจุดตัด d ณ จุดตัด d
นี้นั้น กระแสไฟเริ่มแกว่ง (Labil) แล้ว และเมื่อมีการลดจำนวน
กระแสไฟต่อไปอีกเพียงนิดหน่อยเท่านั้น ก็จะตกไปยังกระแสไฟของจุด
ตัด a ทันที และจะทรงตัวอยู่ ณ จุดนี้ต่อไปอีก

อาการปรากฏการณ์ที่แสดงมาส่วนนี้บังเกิดขึ้นแก่หลอดซึ่งฉนวนเวียน
กันอยู่เรื่อยไป เพราะอย่างนี้ในหลอดโมโตเรชั่น ด้วยกระแสไฟฟักรัด
อาการนั้นทำให้อาการกลดออกกุดคุดออกไป หรือทำให้กระโดด
หวนกลับ ยิ่งในหลอดที่หมักดองทำงานสูงๆ แล้ว การที่ตัวให้กระแสไฟ
อาโนดสูงชันมาก ๆ นั้นอาจทำให้หลอดเสียได้ทันที

๘. การวัดสัญญาณภาค

สำหรับการพิจารณาหลักทั้งห้าที่ผ่านมาแล้ว ได้ขอเข้ว่า หอชค
เป็น ศูนย์ภาษาศาสตร์โดยสมบูรณ์ แต่ตามหลักของเทวัญในทางปฏิบัติอยู่

เวลานี้ ยังไม่สามารถทำให้เป็นเช่นนั้นได้ ซึ่งตามทางใช้การ
ก็จำต้องยอมพอใจในอาการสูญเสียภาคที่ทำได้ด้วยเวลานี้โดยวิธีสับเขา



รูป ๑๑๓ แสดงวงจรสำหรับใช้ทำ
การวัดสูญเสียภาคของหลอดอิเล็กตรอน

ปริมาณ ของแก๊สออกมา ที่สุด
ที่พึงกระทำได้ จนกระทั่งอาการ
ปล่อยไฟฟ้าประจุ (Discharge
system) ไม่ทำการรบกวน
จนรู้สึก ในสูญเสียภาคที่เลว
หมายความว่า โดยความ ดันแก๊ส
ที่สูง บรรดาอิเล็กตรอนที่

เคลื่อนตัวไปได้กระทบหรือชนกันกับปริมาณของแก๊สที่เป็นกลาง แล้วทำ
การไอออนในปริมาณแก๊สนั้น เมื่อเป็นเช่นนั้นก็ทำให้กระแสฟิอัมเกิดจาก
การปล่อยไฟฟ้าประจุออกสู่ชั้น แต่ทว่ายังมีมาเต็มอตามกฎเกณฑ์อยู่
อาการปล่อยไฟฟ้าประจุออกนั้นจะเต็มอเป็นไปตามกฎที่แต่ละเพราะเมื่อ
ความดันของแก๊สน้อยๆ เท่านั้น หมายความว่า การเป็นสูญเสียภาคที่ดี
ซึ่งอาการไอออนในชั้นนี้เกิดจากการชนระหว่าง อิเล็กตรอน กับปริมาณ
ของแก๊สไม่บังเกิดจนเป็นที่ยึดได้ ความต้องการแห่งการเป็น
สูญเสียภาคของหลอดที่กำหนดให้จะสำเร็จผลไปได้ก็โดยแค่นี้ อาจทำ
การวัดตรวจสอบได้ตามวิธีที่ได้กล่าวต่อไปนี้

• ตามวงไฟในรูป ๑๓๓ ต่อกำหนดอันอาโนดบวก U_a เข้าที่อาโนดของ
หลอดซึ่งต้องการตรวจ และกำหนดดินกริดอันเป็นลบ U_g ซึ่งมีค่าไม่เกิน
กว่า 2 โวลต์เข้าที่กริด เมื่อต่อกำหนดดินเช่นนี้เข้าที่กริดแล้ว จะต้องไม่มี

$$I_g = K \cdot p \cdot I_a = k \cdot I_a$$

$$k = \frac{I_g}{I_a} \quad \dots \dots \dots (95a)$$

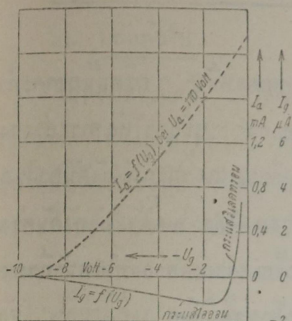
คือเป็นอัตราส่วนของกระแสไฟฟักริตต่อกระแสไฟฟาโนด ตัวแฟคเตอร์สัญญาณกาคัน^๕ ไม่เป็นไปโดยอาการประจำตามที่ถึอกันทั่วไปอย่าง K อันม้อยู่ภายในตัวหลอดเอง เพียงแต่เป็นคัวเกณฑ์สำหรับเปรียบเทียบหลอดชนิดเดียวกันด้วยจำนวนกำลังดัน กริตและกำลังดันฮาโนดอย่างเดียวกัน ตามหลักของรูกอพ (Rukop) ซึ่งกล่าวไว้ในหนังสือ (Die Wissenschaftlichen Grundlagen des Rundfunkempfangs. Berlin J.Springer) 1927 S 302. ว่า สำหรับหลอดรับโดยใช้กำลังดันที่ฮาโนด

$U_a = 110$ โวลต. จะมีค่าของตัวประจุ K เป็น 0,3 โกลต์เคียง คือหมายความว่า ความดันแก๊ส p (เป็นมิลลิเมตรของเส้นปรอท) ประมาณ ๓ เท่าของแฟคเตอร์สัญญาณ k ตามที่แสดงในรูป ๓๑^๕ นี้ ปรากฏผลของค่าที่วัดได้เมื่อใช้กำลังดันฮาโนด $U_a = 110$ โวลต. และกำลังดันกริต $U_g = -3$ โวลต. จะได้ค่าของ $I_g = -1 \cdot 10^{-6} A$ และ $I_a = 1,25 \cdot 10^{-3} A$ จากค่านี้จะได้ค่าของแฟคเตอร์สัญญาณตาม (95a)

$$k = \frac{I_g}{I_a} = \frac{1 \cdot 10^{-6}}{1,25 \cdot 10^{-3}} = 0,8 \cdot 10^{-3}$$

ความดันของแก๊สภายในหลอดอย่างโกลต์เคียงเป็น $3 \cdot 0,8 \cdot 10^{-3} = 2,4 \cdot 10^{-3}$ มม. (เส้นปรอท) คือหมายความว่า เป็นสัญญาณที่เลวอย่างมาก สำหรับเกณฑ์ใช้งานตามปกติในหลอดทั่วๆไป^๕ เกณฑ์ที่ใช้ได้จะต้องมีสัญญาณระหว่างจาก 10^{-5} ถึง 10^{-6} มม. (เส้นปรอท) ในกร

สร้างหลอดที่ก่้างแบบสมัยใหม่ ตามแนวของท่านศาสตราจารย์
เกียร์ทส์ (Gierst) จะทำหลอดให้เป็นสุญญากาศได้ระหว่าง 10^{-7}
ถึง 10^{-8} มม. (เห็นปรอท)



ในการวัดหาแก๊สภายในหลอดที่มี
ตัวขั้วกริฟเล็ก ๆ ตั้งในหลอดตั้ง
จำเป็นจักต้องใช้กำลังคั่นเอาโนดสูง
มาก ๆ จึงจะเหมาะกะกับวงไฟที่แสดง
อยู่ในรูป ๑๑๕ และถ้าหับขั้วกริฟ
ควรจะต้องดัดแปลงเอาโนดกับกริฟ
ดูด้วย ตามวงไฟที่กล่าวมานี้เมื่อทำให้
กริฟเป็นบวกขั้วให้ใช้ความระมัดระวัง

รูป ๑๑๕ แสดงเส้นลักษณะกระแสไฟ เป็นพิเศษด้วยว่า ผลที่วัดได้นาน
กริฟของหลอดที่เป็นสุญญากาศอย่างเลว บังเกิดมีความผิดเพี้ยนได้ง่ายที่สุด ทั้งนี้
เนื่องจากบังเกิดมีอาการรกลอกขึ้นเนื่องจากการรกลอกตัวของอิเล็กตรอน
ไปมาอยู่ในบริเวณของกริฟเป็นบวก ตามทฤษฎีของ H. Bark-
hausen และ K. Kurz ซึ่งกล่าวไว้ในหนังสือ Physic Z. 21 (1920) 1.
ว่า สำหรับหลอดขนาดเล็กอาจกำจัดอาการรกลอกขึ้นเกิดจากเหตุที่ว่า
นเสียได้โดยทำให้ความเปลี่ยนแปลงในกำลังคั่นกริฟบวกให้ค่าคง ส่วน
หลอดใหญ่ ๆ นั้นมีอาการแข่งกระ้างอยู่เป็นครั้งคราว อันเป็นเรื่อรกล
บังคับให้ต้องหวนกลับมาไปใช้วงไฟที่แสดงอยู่ในรูป ๑๑๕ อีก

ตอน ๙

หลอดที่มีหลายกริด

๑. หลักทั่วไป

เมื่อนำกริดหลายอันใส่เข้าภายในหลอดหนึ่ง กริดนั้นอาจจะทำให้อิทธิพลของไฟฟ้าประจุห้วงว่างลดน้อยลง หรือทำให้อาการต้านแสงผดยอนกลับอันเป็นต้นเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นแก่กำลังดันคาโนดลดน้อยลง หรือในที่สุดอาจบังคับกระแสไฟอาโนดด้วยกำลังดันต่างกันสองกำลังก็ได้ ภายใต้หัวข้อนี้กล่าวนี้อาจจำแนกอาการในหน้าที่ของหลอดที่มีหลายกริดออกเป็นชุดต่างๆ ได้สามชุด คือ

๑. หลอดที่มีกริดไฟฟ้าประจุห้วงว่าง (Space charge grid)

๒. หลอดที่มีกริดบดกั้นหรือกริดกำบัง (Screen grid)

๓. หลอดที่ทำการบังคับคู่ (Double control valve) คืออาศัยหลักของหลอดธรรมดาชนิดใดชนิดหนึ่งต้องชนิดมารวมกันให้ทำงานอยู่ภายในหลอด ๆ เดียว

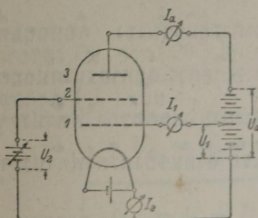
โดยการพิจารณาถึงอาการของหลอดทำงานอย่างไร จึงได้ตัดสินแยกประเภทความต่าง กันขึ้นระหว่างการบังคับของ กระแสไฟอิมิซันและการบังคับของกระแสไฟอาโนด ส่วนในหลอดที่มีกริดไฟฟ้าประจุห้วงว่างและในหลอดที่ทำการบังคับคู่ นั้น หลอดชนิดหลังนับว่า

สำเร็จได้ด้วยอาการ อันเกิดจากอิทธิพลของการแจกกระจายกระแสไฟ
ตามหลักขรรพตา

๒. หลอดทึบกริดไฟฟ้าประจุห้วงว่าง

ก. หลักทั่วไป

ในหลอดชนิดนี้ ได้นำเอากริดใหม่อีกอันหนึ่งมาบรรจุไว้ใน
ระหว่างคาโทดและกริดบังค้ำ ดังในลักษณะที่แสดงอยู่ในรูป ๑๑๕ กริด
อันใหม่นี้มีที่ตั้งอยู่ใกล้กับกำลังดันบวก U_1 กริด (1) นี้มีเอาแรงผลักอิเล็ก
ตรอนที่แยกตัวปลดออกมาจากคาโทดด้วยกำลังแรงเข้าไปหาตัว และ
ดำเนินอาการอันอาศัยอิเล็กตรอนที่นำเข้าไปเข้าหาโนด ฉะนั้นกริด
อันใหม่นี้จึงทำหน้าที่เป็นคาโทดใหม่ ซึ่งมีอิเล็กตรอนอันแยกตัว
ออกด้วยกำลังความเร็ว U_1 ตามความดันพันธ์ของอิเล็กตรอนแห่งความ
เร็วอันมากมายกับความเร็วของอิเล็กตรอนที่แยกตัวออกจากกริด (1)



รูป ๑๑๕ แสดงวงจรของหลอด
ที่มีกริดไฟฟ้าประจุห้วงว่าง

ทำให้ไฟฟ้าประจุห้วงว่างบนกริด (1)
นั้นไม่มากมายเท่าใด ซึ่งตามขรรพ
ตาแล้วอาจคิดถึงเสียได้ การบังค้ำ
กระแสไฟาโนด นั้น ทำได้โดยการ
บังค้ำ กระแสไฟกระจายจากขรรพ
หว่างกริด ไฟฟ้าประจุห้วงว่าง (1)
กับอาโนด (3) ภายในเขตขรรพ
เบโดว

ความประต่งคอนตึงเดิมของชอตต์คีย์ (Schottky) ที่ตั้งใจมาก่อน
นั้นคือ ต้องการท่วความชันของหลอดให้สูงขึ้น โดยการลดทอนไฟฟ้าประ
จุห้วงว่างภายในเขตคัทบงคับให้น้อยลง แต่ในความเจริญก้าวหน้าของ
หลอดแบบสมัยใหม่ๆ นี้เองทำให้ความต้องการอื่น ๆ ไม่มีค่าสำคัญอะไร
ต่อไป (โดยในหลอดท่วกำลังที่ทำงานอยู่ด้วยอาการของไฟฟ้าประ
จุห้วงว่างยังได้ความชันถึง 10 mA/V) แต่ถึงกระนั้นก็ดี ในสมัย
หลอดที่มกริดไฟฟ้าประจุห้วงว่างก็ยังนับว่าเป็นหลอดสำคัญอยู่ในทางใช้
การมาก ฉะเพาะอย่างยิ่ง โดยที่อาการของไฟฟ้าประจุห้วงว่างนี้อยู่ตรง
จุดออก (Out put) ของหลอดบงคับนี้

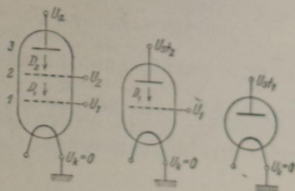
ข. กระแสไฟอิมิชัน I_o

หลอดที่มีอาการอิมิชชันอ่อน (หลอดที่ใช้คาโทดทำด้วยวูลแฟรม
และบางพวกหลอดที่ใช้คาโทดหันด้วยทองเรียบ) ใช้กำลังดันไฟฟ้าประ
จุ U_i นี้ สูงกว่ากำลังดันกระแสไฟอิมิตว ดังนั้นจึงทำให้กระแสไฟอิมิตว
ไหลอยู่ได้ตลอดเวลา ส่วนในหลอดที่มีอาการอิมิชชันแรง คือหลอดที่
ใช้คาโทดเคลือบด้วยออกไซด์นั้นอาจจะทำให้เกิดการเสียหายจนแก่หลอด
ได้ จึงเป็นการถูกบังคับให้ทำงานอยู่ฉะเพาะภายในเขตคัทของไฟฟ้าประ
จุห้วงว่าง และเป็นการจำเป็นที่จักต้องใช้กำลังดันของกริดไฟฟ้าประ
จุห้วงว่าง U_i นี้ให้น้อยกว่ากำลังดันอิมิตว

การกำหนดหากระแสไฟอิมิชชันของหลอดที่มกริดอ่อนเคยจำเป็น
ต้องย้อนกลับไปอาศัยการช่วยเหลือจากกำลังดันบงคับของหลอดที่ไม่มี
กริดอีก สำหรับหลอดที่มกริดหลายอันก็ต้องดำเนินในทำนองคล้าย

คลึงกันกับที่กล่าวในหลอดที่ส่งกริดนั้น ชั้นแรกเราต้องย้อน
กลับไปพิจารณาตามหลักของหลอดที่มกริดเดียวกัน แล้วย้อนกลับ
ต่อไปจนถึงหลอดที่ไม่มีกริด

(รูป ๑๑๖) ตามหลักแห่ง
การพิจารณาในเรื่องกำลังดัน
บังคับนั้น ที่กริด (2) ใน
รูป เป็นที่กักดันบังคับ
ลำแสงผลอยู่ (เรียกว่าไป
เค้นเชียดลำแสงผล ของ กริด
(2) ได้เหมือนกัน)



รูป ๑๑๖ แสดงวิธีหาตำแหน่งบังคับ U_{st}
ของหลอดที่มีกริดคู่

$$U_{st_2} = U_2 + D_2 \cdot U_a \quad \dots \dots \dots (96)$$

ในทำนองเดียวกันที่กริด (1) รูป ๑๑๖

$$U_{st_1} = U_1 + D_1 \cdot U_{st_2} \quad \dots \dots \dots (97)$$

นำค่าของ U_{st_2} จาก (96) ใส่ลงใน (97) จะได้กำลังดันบังคับอันด้าแรง
ผลที่กริด (1) เป็น

$$U_{st_1} = U_1 + D_1 (U_2 + D_2 \cdot U_a)$$

$$U_{st_1} = U_1 + D_1 U_2 + D_1 D_2 U_a \quad \dots \dots (97a)$$

กำลังดันด้าแรงผลจากอิเล็กโทรอนหนึ่ง ๆ อันกระทำที่กริด (1) จะ
หาได้เหมือนกัน เมื่อเอากำลังดันของอิเล็กโทรอน ๆ หนึ่งกับอาการ

ตัวขั้วกริฟฟของกริด อันเป็นผลที่เส้นกำลังไฟฟ้าจะต้องเดินผ่านตลอด
ไปเพื่อให้ถึงคาโทด

ด้วยอาศัยกำลังดันบังคับ U_{st_1} จาก (97a) จึงทำให้สามารถย้อน
ไปพิจารณาหลอดชนิดที่มีกริดสองอันดังว่านี้ ในหลักของหลอดที่มีกริด
เดียวดังในรูป ๓๖ ได้ หลอดนี้ทำงานอยู่ภายในเขตต์ไฟฟ้าประจุห้วงว่าง
ก็จะหากระแสไฟโอมิรชันตามกฎของไฟฟ้าประจุห้วงว่าง (45a) ได้เป็น

$$I_e = K \cdot U_{st}^{\frac{3}{2}} \quad \dots \dots \dots (98)$$

ค่าของตัวประจำ K นี้ย่อมอาศัยเกณฑ์มาจากพินหนากริดที่เป็นแผ่น (1)
และกำหนดเอาเหมือนหลอดที่มีกริดเดียวโดยสมการ (67) กับ (67a)
นำเอากำลังดันบังคับจาก (97a) ใส่แทนค่าลงใน (98) ก็จะได้กระแส
ไฟโอมิรชันของหลอดกริดคู่ในเขตต์ไฟฟ้าประจุห้วงว่างเป็น

$$(97a) \quad U_{st_1} = U_1 + D_1 \cdot U_2 + D_1 \cdot D_2 \cdot U_a$$

$$(98) \quad I_e = K \cdot U_{st}^{\frac{3}{2}}$$

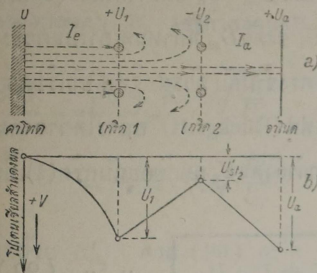
$$I_e = K (U_1 + D_1 \cdot U_2 + D_1 \cdot D_2 \cdot U_a)^{\frac{3}{2}} \quad \dots \dots (98a)$$

ณ ที่นี้ ตามปกติใช้ค่าสำหรับ $D_1 \cdot D_2$ แทนด้วยตัวขั้วกริฟฟของ
คาโทด D_a

จากความสัมพันธ์ของสมการที่ปรากฏข้างต้น ทำให้รู้ได้ว่า ส่วนที่ก่้างดันเอาโนดส่งไปให้แก่ก่้างดันบ่งกับนี้ มีค่าแค่เพียงเล็กน้อย เพราะอย่างยิ่งสำหรับ D_1 และ D_2 เองก็มีค่าน้อยอยู่แล้ว สมมติว่า $D_1 = D_2 = 0,1$ จำนวนที่ส่งแรงผลจากก่้างดันเอาโนดไปกระทำแก่ กริต (1) เป็นจำนวน $0,1 \cdot 0,1 \cdot U_a = 0,01 U_a$ คือเพียง 1% เท่านั้น เพราะฉะนั้นก่้างดันเอาโนด U_a จึงมีอิทธิพล ต่อแรงกระทำกระแสไฟ้อมีร้น ภายในหลอดท่มีกริตค่นเพียงเล็กน้อย

ค. กระแสไฟ้อเอาโนด I_a

ในหลอดแบบใหม่ กระแสไฟ้อมีร้น I_a ซึ่งออกมากจากคาโทดนั้น



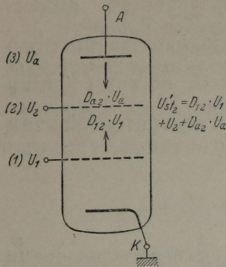
รูป ๑๓๗ แสดงการแจกกระจายของ กระแสไฟ และโพลเตนเชียลในหลอดท่มีกริต ไฟฟ้าประจุห้วงว่าง

ส่งจนมากถกบ่งกับให้เป็นไปตาม กฎของไฟฟ้าประจุห้วงว่าง (98a) และการบ่งกับค่ากระแสไฟ้อเอาโนด I_a ทำได้ โดยการปรับ หรือแต่ง อา การ รับ ชั่ว ของ กระแสไฟ (Stromübernahme) โดยอาศัย ก่้างดันไฟฟ้าลบจากกริต (2)

รูป ๑๓๘ a เป็นผู้แสดง

โดยที่กริต (2) มีก่้างดันไฟฟ้าลบค่ออยู่ จึงไม่รับเอากระแสไฟ้อเข้า ไปคือหมายความว่า ไม่มีกระแสไฟ้อไหลเข้าป่กริต บัรตการเร่อเล็ก

ทรอนทงหลายทผานพนของกริตนเดินเข้าไปสู่อานิตทงสน กระแสไฟ
อานิต นท้นจ้งชนอยู่กับโปเตนเซียดต่ำแดงผดอันกระทำยู่ทพนของ



รูป ๑๑๘ แสดงการ
วิเคราะห์ความหมายของโปเตน
เซียดต่ำแดงผด (Effective
potential) U'_{sl2}

โปเตนเซียดต่ำแดงผดของกริต(2)จากกำลังดัน U_2 อันค่ออยู่กักริต(2)เป็น

$$U'_{sl2} = U_1 \cdot D_{12} + U_2 + U_a \cdot D_{a2} \quad \dots \quad (99)$$

ตามถ่มการันแนว่าทกริต(2)มีกำลังดันเป็นลบ U_1 อันมีโปเตนเซียด
ต่ำแดงผดของกริตคงเป็นบวกอยู่ คือว่า $D_{12} \cdot U_1 + D_{a2} \cdot U_a > |U_1|$
โดยที่ตามทางใช้การ ค่าของ D_{12} และ D_{a2} อย่างมากที่ถ่มนจะสูง

กริต (2) การที่จะหาจำนวนของกระแสไฟ
อานิต จ้งจำเป็นทจกค้อง ระดัดด้วยว่า
กริตน ถกห้อมด้อมอยู่ด้วย อีเล็คโทรดท้ง
ด้องด้าน และ อีเล็คโทรดอันหนึ่ง หนึ่งจะมี
ค่าของโปเตนเซียด ในพนของตน ดังเพิ่ม
ออกไป (ตรบ ๑๓๘) ฉะนั้นในพนของ
กริต(2) จะมีโปเตนเซียดอันบ้งเกิดชนจาก
อานิตเป็น $D_{a2} \cdot U_a$ และจากกริต (1) เป็น
 $D_{12} \cdot U_1$ ซึ่งค่อ D_{12} นีกาหนดเขาเป็นควทม
อาการ ตรงข้ามกับ ตัวรชกริฟฟ อันเรียกว่า
“รืกริฟฟ (Rückgriff)” อันจะได้กำลังดัน

กว่า 10% ได้อย่างเต็มที่ และ U_1 น้อยใกล้เคียงกับ U_a ฉะนั้นไปแทนที่ด้วยค่าต่ำสุดของ U_1 (เมื่อ $U_2 = 0$) จะมีเพียง 20% ของ U_1 บรรดาอิเล็กตรอนเหล่านี้ จึงต้องเดินทางไปแทนที่ค่าต่างระหว่าง กริต 1 กับ กริต 2 (ดูรูป ๓๓๖) และถูกห้ามให้เข้าไปถึงกว่านั้นยังถูกทำให้วิ่งไปทางข้าง ฉะนั้นอิเล็กตรอนที่จะบินเข้าไปถึงอาโนดได้ ก็เฉพาะแต่พวกที่ได้อิทธิพลจาก กริต 2 ไปแล้ว ฉะนั้นทั้งหมดนี้จะต้องอยู่ภายใต้กฎของเบโดว. ทั้งนี้เนื่องจาก U_{st_2} มีค่าน้อยกว่า U_1 ชยเสมอ โดยที่กริต 2 ไม่ได้รับเอากระแสไฟโดย จึงได้กระแสไฟอาโนด I_a จาก (88) ในเมื่อใช้ U'_{st_2} อันเป็นไปแทนที่ด้วยค่าต่ำสุดแทน U_a และกำลังดัน U_1 ของกริต 1 แทน U_a จะได้

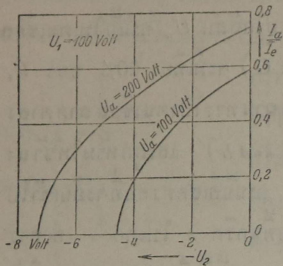
$$(88) \quad \frac{I_a}{I_e} = K_2 \cdot \sqrt{\frac{U_a}{U_1}}$$

$$I_a = I_e \cdot K_2 \sqrt{\frac{U'_{st_2}}{U_1}} \quad \dots \dots \dots (100)$$

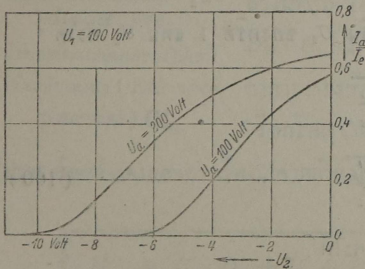
หรือด้วย U'_{st_2} จาก (99) จะได้

$$I_a = I_e \cdot K_2 \sqrt{\frac{U_1 \cdot D_{12} + U_2 + U_a \cdot D_{22}}{U_1}} \quad \dots \dots (100a)$$

อาการเดินของเส้นโค้ง ผลลัพธ์จากสมการข้างบน $I_a = f(U_2)$ จะได้จากตัวอย่างที่กำหนดตัวเลขแสดงให้เห็น ในตารางต่อไปนี้



รูป ๑๑๙ แสดงเส้นโค้งการแบ่งแจก
กระแสไฟที่คำนวณได้ตามสมการ (100a)



รูป ๑๒๐ แสดงเส้นโค้งการแบ่งแจกกระแส
ไฟที่ทำการวัดได้ (ตามหลักของ Rothe
และ Kleen)

$$\frac{I_a}{I_e} = 2,76 \sqrt{\frac{100 \cdot 0,018 + U_g + 200 \cdot 0,027}{100}}$$

$$= 0,276 \cdot \sqrt{7,2 + U_g}$$

ละเอียดของอันนี้ Rothe และ Kleen
ได้ใช้หลอด RENS 1234 ทำการ
ทดลอง ซึ่งได้ลงรายละเอียดไว้
ในหนังสือ Die Telefunken
Röhre 1936, Heft 8. ปรากฏผลว่า
หลอดที่ทำทำการทดลองนี้
มีค่าของตัวประจำ $K_2 =$
 $2,76$, $D_{12} = 0,018$ และ
 $D_{a2} = 0,027$ สำหรับ
 $U_1 = 100$ และ $U_a = 200$
โวลต์ จะได้สูตรคำนวณ
ของกระแสไฟตาม (100a)
เป็น

และจากสมการสุดท้าย^{*} คำนวณได้ค่าต่าง ๆ ประกอบกันแสดงเป็น
เส้นโค้งดังในรูป ๓๓๘

$$I_a/I_c = f(U_2) \text{ สำหรับ } U_a = 200 \text{ โวลต์}$$

U_2	0	-2	-4	-6	-7,2
I_a/I_c	0,74	0,63	0,494	0,303	0

ในทำนองคล้ายคลึงกันได้ค่าของ $I_a/I_c = f(U_2)$ สำหรับ $U_a = 100$
โวลต์ ซึ่งได้ค่าเหล่านี้แสดงเป็นเส้นโค้งดังที่สองของรูป ๓๓๘

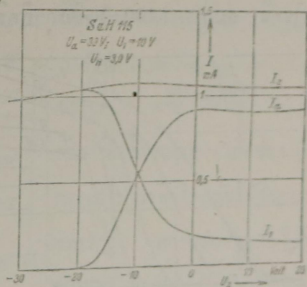
$$I_a/I_c = f(U_2) \text{ สำหรับ } U_a = 100 \text{ โวลต์}$$

U_2	0	-2	-4	-4,5
I_a/I_c	0,586	0,437	0,195	0

การเปรียบเทียบเส้นโค้งลักษณะตามรูป ๓๓๘ กับเส้นลักษณะทำการ
ทดลอง วัดหามาได้ดังใน

รูป ๓๒๐ นั้นได้ผลคล้าย
คลึงกัน อันนับว่าเป็นที่

พอใจ อยู่ภายใน ภาค บน
ของเส้นโค้ง ส่วนในภาค
ล่างของเส้นโค้งนั้นมีความ
ผิดแปลกกัน ในระหว่าง ค่าที่
ทำการวัด กับค่าที่ทำการ
คำนวณได้มาก ซึ่งอาจการผิด
แปลกกันที่บังเกิดขึ้นนี้คงอยู่
ในกระแสไฟเริ่มต้น ที่ใน



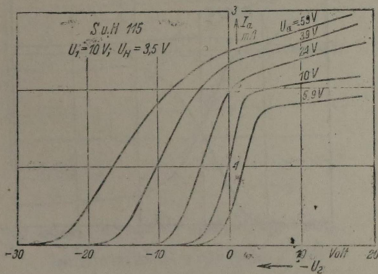
รูป ๓๒๑ แสดงกระแสอินพุต I_c กระแส
โฟลไดโอด I_a และกระแสไฟฟลักซ์ไฟฟ้าประจุ
ว่าง I_s ของหลอดที่ใช้ค่าโวลต์ ทำตัวควบคุม
ลู่ภายในวงจรของไฟฟ้าประจุว่าง อันสัมพันธ์
ขึ้นกับ U_2 (S&H.115, $U_a = 39$ โวลต์,
 $U_1 = 10$ โวลต์, $U_g = 3$ โวลต์)

การคำนวณได้ตัดเอาออกเสียมันจะต้องนำกลับเข้ามาพิจารณาอีก

ต่อไปยังได้แสดงผลแห่งเส้นโค้งลักษณะของหลอดที่ใช้เภาคาโทดด้วยวิธีตรงกับวิธีอื่น อันมีกริดไฟฟ้าประจุห้วงว่าง (Space charge grid) ซึ่งทำการทดลองวัดหามาได้ไว้ด้วย รูป ๑๒๓ แสดงกระแสไฟอิมิชัน I_o กระแสไฟอาโนด I_a และกระแสไฟกริดไฟฟ้าประจุห้วงว่าง I_g อันสัมพันธ์กันอยู่กับการก่อดันกริด (2) ของหลอดอย่างเท่าที่ใช่คาโทด

ทำด้วยวัสดุแฟรม กระแสไฟอิมิชัน I_o ในที่นี้เป็นกระแสไฟอิมิชันในตัว และมีค่าอันถือว่าประจักษ์ที่ได้เป็นอย่างดี กระแสไฟของกริดไฟฟ้าประจุห้วงว่าง I_g จะต้องน้อยลงตามส่วนเท่า ๆ กันกับส่วนที่กระแสไฟอาโนดทวีเพิ่มขึ้น

รูปทรงของการเดินของเส้นโค้งลักษณะกระแสไฟอาโนดนี้ สมการ (100a) จะถูกอิทธิพลของกำลังดันตกที่ใส่หลอด



รูป ๑๒๓ เส้นลักษณะกระแสไฟอาโนด $I_a = f(U_2)$ ของหลอดที่อยู่ในวงจรไฟฟ้าประจุห้วงว่าง (S. & H. 115)

และไฟฟ้าประจุห้วงว่าง อื่นๆ ทำให้ลาดลงและจะตัดให้เป็นเส้นตรง หมู่เส้น

โค้งลักษณะของรูป ๑๒๒

แสดงให้เห็นอิทธิพลของ

กำลังดันอาโนด U_a อัน

ต่ำแสดงอาการแปรรูปทาง

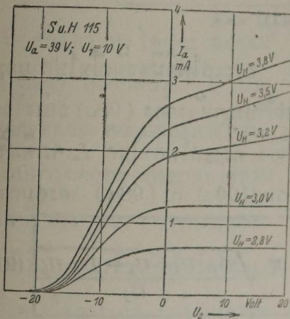
เดินของเส้นโค้ง ด้วย

กำลังดันอาโนดเพิ่มขึ้น

และกำลังดันกริดไฟฟ้าประจุห้วงว่าง U_1 ประจำที่นั้นทำให้ความชันของเส้นโค้งลักษณะ $I_a = f(U_2)$ ลดน้อยลง ซึ่งนับว่าสมจริงตามอาการของสมการ (100a) คือจาก (100a) ได้ค่าของความชัน

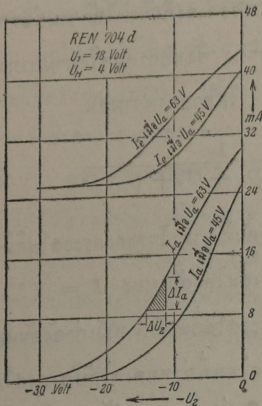
$$S = \frac{\partial I_a}{\partial U_2} = \frac{I_c \cdot K_2}{\sqrt{U_1}} \cdot \frac{1}{\sqrt{U_1 \cdot D_{12} + U_2 + U_a \cdot D_{22}}}$$

รูป ๑๒๓ แสดงให้เห็นอิทธิพลของกำลังดันที่เฝ้าคาโทดและกระแสฟิอิมิชัน I_c ต่อทางเดินของเส้นโค้งลักษณะ $I_a = f(U_2)$ ตามอาการอิมิตัวของหลอดนั้นจะทำให้กระแสฟิอิมิตัวสำหรับกำลังดันเฝ้า



รูป ๑๒๓ เส้นลักษณะกระแสฟิอิมิต $I_a = f(U_2)$ ของหลอดในวงจรไฟฟ้าประจุห้วงว่าง ด้วยกำลังดันเฝ้าคาโทด U_H ต่าง ๆ กัน

คาโทดที่กำหนดเท่ากับกระแสฟิอิมิชัน และจะทอดตามส่วนกับกำลังดันเฝ้าคาโทด U_H กระแสฟิอานิต I_a ตาม (100a) กับ I_c ต้องเพิ่มขึ้นตามส่วน สัมพันธ์กับกระแสฟิเฝ้าคาโทดอันได้ส่วนมาจาก U_H ความชันของเส้นโค้งลักษณะ $I_a = f(U_2)$ สำหรับกำลังดันเฝ้าคาโทดที่ทวนนั้นจะต้องมากขึ้น โดยที่ในความสัมพันธ์ที่กล่าวแล้ว. ความชัน S ได้



รูป ๑๒๔ เส้นลักษณะกระแสไฟ
 อิมิตชันและกระแสไฟอาโนของหลอด
 เกลาโทดด้วยวรีอ้อม (REN 704 d,
 $U_1 = 18$ โวลต์ $U_H = 4$ โวลต์

อัตราส่วนตาม I_a กระแสความชัน S
 จึงต้องทวนตามส่วนกับ I_a และ U_H
 ดังกล่าวแล้ว สำหรับหลอดซึ่งกำลัง
 ดันของกริดไฟฟ้าประจุห้องว่าง U_1
 อยู่ภายในเขตคัสของไฟฟ้าประจุห้องว่าง
 (คาโทดถูกเผาโดยวรีอ้อม) ได้แสดง
 รูปทางเดินของเส้นโค้งกระแสไฟอา
 นอด I_a และของกระแสไฟอิมิตชัน I_e
 อันสัมพันธ์กันอยู่กับการดัน U_2 อยู่
 ในรูป ๑๒๔

กระแสไฟอิมิตชันเป็นไปตามกฎ
 ไฟฟ้าประจุห้องว่าง (98a) อย่างใกล้
 เคียง กระแสไฟอาโนด I_a จะเพิ่มขึ้น
 ตาม (100a) กับ (98a) และสมการ

$$I_a = K \cdot (U_1 + D_1 \cdot U_2 + D_1 \cdot D_2 \cdot U_a)^{\frac{3}{2}} \cdot K_2 \sqrt{\frac{D_{12} \cdot U_1 + U_2 + D_{a2} \cdot U_a}{U_2}} \quad (91)$$

กับ U_2 และจะทวนรวดเร็วมากขึ้นกว่าเมื่อกระแสไฟอิมิตชัน I_e ประจำคงที่

ง. การหาตัวประจํา

ตัวประจําที่ใช้การได้แก่ความชัน ตัวขงกริฟ และความต้าน
 ภายใน ซึ่งหามาได้จากเส้นโค้งลักษณะ $I_a = f(U_2)$ ดังเส้นใน

ทำนองที่กล่าวมาแล้วในเรื่องตัวประจําของหลอดหน้า ๓๗๘ ส่วนอาการของเส้นโค้งที่ได้มาสำหรับหลอดทึมกริดไฟฟ้าประจุห้วงว่างนี้ ย่อมมีลักษณะไปจากเส้นลักษณะของหลอดทึมกริดโดยอยู่เป็นขรรวมตา

นอกจากตัวประจําที่ใช้การแล้ว ในสมการข้างต้นยังมีตัวประจําที่เราต้องสนใจอีก นั่นเพราะอย่างยิ่งจำพวกที่ใช้อยู่ในสมการ (100a) ซึ่งได้แก่ D_{12} , D_{a2} และ K_2 เป็นต้น

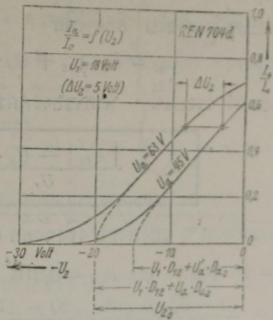
ตัวตัวขรรกริฟ D_{a2} หาได้จากขรรกรรมาคือ

$$D_{a2} = \frac{\Delta U_2}{\Delta U_a}$$

เมื่อ I_a ประจํา . . . (102)

เมื่อต้อง การหา โดยละเอียดนั้น นอกแล้ว ยังจำต้องให้ I_a ประจําที่ด้วย ความต้องการทว่าตามทางทดลองในหลอดที่ใช้กริดไฟฟ้าประจุห้วงว่าง ตามปกติจะไม่ให้มีอาการอิมคิวต์สำเร็จได้ยาก ซึ่งทางใช้การแล้ว ก็ยอมมีทางที่ช่วยได้คือ ใช้วิธีคำนวณกลับ

หาเส้นโค้ง $I_a = f(U_2)$ โดยอาศัยกระแสไฟอิมพัลส์ที่ประจําคงที่ หรือที่สะดวกกว่านั้น คือ



รูป ๑๒๕ แสดงรูปทางเดินของเส้นโค้งอัตราส่วนสัมพันธ์ I_a/I_g อันขึ้นอยู่ด้วย U_2 (ทำการวัดได้จากหลอด REN 704 d เมื่อ $U_1 = 18$ โวลต์)

คำนวณหาอัตราส่วน I_a/I_o จากเส้นโค้งของรูป ๓๒๔ แล้วเขียนแสดงความสัมพันธ์ให้ขึ้นอยู่กับ U_a ก็จะได้เส้นโค้งดังในรูป ๓๒๕ จากเส้นโค้งนี้จะหาตัวทวีคูณ D_{a2} ตาม (102) ได้

$$D_{a2} = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} = \frac{5}{63 - 45} = 0,278$$

ส่วนตัวทวีคูณ D_{12} ตามทางทดลองปรากฏว่าจะแน่นอนแท้ไม่ได้ แต่ควรจะพอใจสำหรับค่าใกล้เคียงที่ได้มา การที่จะหาค่าใกล้เคียงนี้จะต้องเขียนตอนต้นของเส้นโค้งซึ่งจะเป็นไปตามอาการของตัวการ (100a) ลงโดยไม่มีกระแสไฟรั่วต้นปรากฏ (ในรูป ๓๒๕ แสดงด้วยเส้นจุด ๆ) เส้นโค้งสำหรับ $U_a = 63$ โวลต์ตัดเส้นแกนนอนตรงก่าถึงต้น $U_{20} = 20$ โวลต์ ตามตัวการ (100a) กระแสไฟอาโนดจึงต้องเป็นศูนย์ เมื่อเศษของสระแคว้นหายไป คือว่าเมื่อ

$$U_{20} = U_1 \cdot D_{12} + U_a \cdot D_{a2} \quad \dots \quad (103)$$

จากตัวการข้างบนนี้ หาค่าของตัวทวีคูณ D_{12} ได้

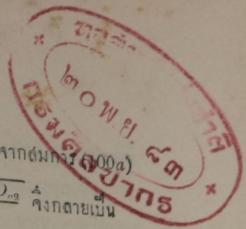
$$D_{12} = \frac{|U_{20}| - U_a \cdot D_{a2}}{U_1} \quad \dots \quad (104)$$

โดยใช้ค่าต่าง ๆ ของตัวอย่างที่ได้แล้วคือ $U_a = 63$ โวลต์ $U_{20} = 20$ โวลต์

$U_1 = 18$ โวลต์ และ $D_{a2} = 0,278$ คำนวณได้

$$D_{12} = \frac{20 - 63 \cdot 0,278}{18} = \frac{20 - 17,5}{18} = \frac{2,5}{18} = 0,138 \approx 0,14$$

สำหรับความยากลำบากแห่งการหา D_{12} นี้น Rothe และ Kleen ได้แนะนำให้หันมาหาว่า ทานทั้งได้อินช่วยหาหนทางให้ง่ายขึ้นโดยคำนวณ D_{12} จากขนาดต่าง ๆ ทางขั้วอิมิตรของหลอด



ตัวประจำ K_2 หาได้ง่ายที่สุดสำหรับ $U_2 = 0$ จากสมการ (100a)

$$I_a = I_e \cdot K_2 \sqrt{\frac{U_1 \cdot D_{10} + U_2 + U_n \cdot D_{n2}}{U_1}} \quad \text{จึงกลายเป็น}$$

$$I_a = I_e \cdot K_2 \sqrt{\frac{U_1 \cdot D_{10} + U_n \cdot D_{n2}}{U_1}}$$

$$K_2 = \frac{I_a}{I_e} \sqrt{\frac{U_1}{U_1 \cdot D_{10} + U_n \cdot D_{n2}}} \quad \dots \dots (105)$$

หรือเมื่อใช้ $U_1 D_{10} + U_n \cdot D_{n2} = U_{20}$ จะได้จาก (106) เป็น

$$K_2 = \frac{I_a}{I_e} \cdot \sqrt{\frac{U_1}{U_{20}}} \quad \dots \dots (105a)$$

สำหรับตัวอย่างข้างต้น จากรูป ๓๕ เมื่อ $U_a = 63$ โวลต์ $I_a/I_e = 0,695$ โดย $U_2 = 0$ และ $U_{20} = 20$ โวลต์ จากค่าเหล่านี้คำนวณสำหรับ $U_1 = 18$ โวลต์ จะได้

$$K_2 = 0,695 \cdot \sqrt{\frac{18}{20}} = 0,695 \cdot 0,948 = 0,66$$

๑. การเปรียบเทียบเส้น ลักษณะที่หาได้ด้วยการคำนวณ กับที่หาได้ด้วยการวัด

คำนวณหาค่าของอัตราส่วนสัมพัทธ์ $I_a/I_e = f(U_2)$ โดยใช้ตัวประจำที่ได้มาตาม (100a) จะได้เส้นโค้งดังที่แสดงอยู่ในรูป ๓๖ เปรียบเทียบรูปเส้น โค้งนี้กับเส้น โค้งที่หามาได้ ด้วยการวัดตามรูป ๓๕ จะรู้ได้ อกว่าอาการผิดเพี้ยนจากกันไป ณ ที่นี้ เห็นเกิดมาจากกระแสไฟเริ่มเดิน ส่วนเส้นแนวรูปทางเดินของเส้น โค้งที่ทำการวัดได้และเส้นโค้ง

ค่าความต้านทานจึงต้องกันไปถึงเขตคั่นหนึ่ง และแสดงให้เห็นว่า
เส้นโค้งที่ทำการวัดมาได้นี้ มีอาการโค้งน้อยกว่าเส้นโค้งที่คำนวณ

ความผิดเพี้ยนจากกัน สำหรับ ลักษณะที่ กล่าวแล้วนี้ไม่จำเป็นต้องเอาอาการ
ไฟฟ้าประจุห้วงว่างที่คัดออกเสียนั้นหวนกลับมาพิจารณาอีก ทั้งนี้

เนื่องจาก ไฟฟ้าประจุห้วงว่างแสดงผลต่อเส้นโค้งลักษณะกระแสไฟ

อาโนดอยู่ภายในห้วงของการแจกกระจาย กระแสไฟในลักษณะที่จะทำให้
เป็นเส้นตรง ความจริงอันนี้

ได้นำเอามาใช้ เป็น ประโยชน์โดย
การสร้างหลอดให้มีเส้น ลักษณะ
มีอาการเป็นเส้นตรง

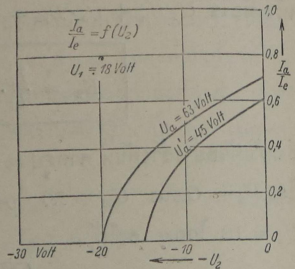
ความผิดเพี้ยนของสูตร(100a)
ที่ต่าง ไปจากรูปทางเดินของเส้น
โค้ง ลักษณะ กระแสไฟอาโนด

$I_a = f(U_a)$ อันแท้จริงนั้น ยัง

อาจแสดงให้เห็นได้อีกคือ ตาม

สมการ(100a) เมื่อ $U_2 = 0$ และ

$U_a = 0$ นั้น ได้กระแสไฟอาโนด



รูป ๑๒๖ แสดงเส้นโค้งความสัมพันธ์
ในอัตราส่วน $I_a/I_c = f(U_a)$ ใน
ทางคำนวณของหลอด $REN704d$
ตามสมการ (100a) โดยการใช้ตัว
ประจำที่ทำการทดลองได้

$$I_a = I_c \cdot K \sqrt{\frac{U_1 \cdot D_{12}}{U_1}} \quad \dots \dots \dots (106)$$

เมื่อไม่คำนึงถึงกระแสไฟรั่วเดินอันไม่มีค่ามาก ตามที่จริงเป็นศูนย์
เพราะฉะนั้นความไม่ถูกต้องอันนี้จึงเนื่องมาจากเหตุที่ว่าสมการ (100a)

ตามการกำหนดสมมติให้ $\bar{U}_a$ แสดงจำนวนกระแสไฟที่ไหลผ่านพื้นของ
กริด 2 เท่านั้น ซึ่งจำนวนกำหนดให้สำหรับลักษณะ ($U_a = 0, U_a = 0$)
โดยสมการ (106) ละเว้นสมการ (106) ที่ได้กระแสไฟมา จึงไม่ใช่
กระแสไฟอาโนด I_a แต่จะเป็นกระแสไฟที่เดินไหลผ่านพื้นของกริด 2 ซึ่ง
แทนด้วย I_a' ความแตกต่างจะคงมีอยู่ ตรงที่ $U_a > 0$ แล้วนับว่า
ไม่สำคัญอะไร แต่สำหรับ $U_a = 0$ นั้นจะบังเกิดปรากฏการณ์ขึ้น
หนึ่งเนื่อง จาก บรรดา อิเล็กตรอนที่วิ่ง กลับเสียก่อน หน้าจะถึง อาโนด
เหตุนี้จึงทำให้กระแสไฟอาโนด I_a' ไม่เท่ากันกับกระแสไฟที่ไหลผ่านพื้นของ
กริด 2 อีกต่อไป โดยที่รายซึ่งพิจารณาอยู่นี้ไม่มีความสำคัญในทางใช้
การแต่อย่างใด จึงไม่มองถึงอาการทางตัวเลขต่อไป ขอจำกัดวงเข้า
มาให้้อยู่ภายในเขตที่ใช้ได้ของสมการ (100a) ส่วนเขตคั่นนอกเหนือ
ไปนั้นขอตัดออก ละเว้นเขตที่ใช้ได้ของสมการ (100a) จึงจำกัดวง
ตามกำลังดันอาโนด

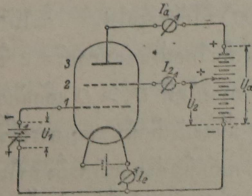
$$U_a > 0 \quad \dots \dots \dots (107)$$

๓. หลอดที่มีกริดป้องกันหรือกริดกำบัง (Screen grid)

ก. หลักทั่วไป

ในหลอดชนิดนี้ได้อากริดอันที่สองที่เรียกว่า “กริดป้องกันหรือ
กริดกำบัง” (Screen grid) ได้เข้า ในระหว่างกริดบังคั้นกับ อาโนด
และต่อกำลังดันไฟฟ้าบวก เข้าที่กริดนี้ ในทำนองเดียว ภูมิภาคที่แสดงอยู่ใน
รูป ๑๒๒ จะได้รับผล ในการลดทอนอาการ ดำแดงมดกดับของอาโนดที่กระ

ทำแก๊กรีดบังคับให้น้อยลง ซึ่งเป็นอาการตรงกันข้ามกับหลอดที่แก๊กรีด
ไฟฟ้าประจุห้วงว่าง คือ ณ ที่นี้จะไม่มีการรับทอดเอากระแสไฟเข้ามา



รูป ๑๒๗ แสดงวงจรของหลอด
ที่มีกริดก้ำบังหรือกริดบังกัน

ข. กระแสไฟอิมิชชัน I_o

กระแสไฟอิมิชชัน I_o ขึ้นอยู่กับกำลังดันบังคับลำแสงผล U_{st_1} อัน
ต่ออยู่ที่กริด 1 อีก (ดูรูป ๑๒๗) อาการอันนี้จะเห็นความสัมพันธ์ได้จาก
สมการ (80a)

$$U_{st_1} = U_1 + D_1 \cdot U_2 + D_1 \cdot D_2 \cdot U_a \quad \dots \quad (108)$$

โดยเหตุที่หลอดซึ่งมีกริดก้ำบังนั้นทำงานอยู่ในเกณฑ์ของไฟฟ้าประจุห้วง
ว่างในระหว่างคาโทดกับกริดบังคับเสมอ จึงต้องทำให้กระแสไฟอิมิชชัน
 I_o ถูกบังคับอยู่ภายใต้กฎของไฟฟ้าประจุห้วงว่าง ค่าของกระแสไฟ
อิมิชชันหาได้ในทำนองเดียวกับสมการ (98a) เป็น

$$I_o = K \cdot (U_1 + D_1 \cdot U_2 + D_1 \cdot D_2 \cdot U_a)^{\frac{3}{2}} \quad \dots (109)$$

เพื่อจักให้เห็นการสำแดงอิทธิพลแห่งกำลังดันหนึ่ง ๆ จนกระทั่งค่ากระแสไฟโอมิซันอย่างไรได้ดังนั้น จึงควรแสดงตัวอย่างอันมีค่าของเลขประกอบกำหนดค่าของ ส่วนต่าง ๆ ที่ใกล้เคียงของหลอดที่นักประดิษฐ์กำหนดสำหรับฟลักซอนสูงดังต่อไปนี้ คือ

$$K = 1 \cdot 10^{-3} A/V^{\frac{3}{2}} = 1 mA/V^{\frac{3}{2}}, D_1 = 0.04 \text{ และ } D_2 = 0.04$$

เป็นพัน

ฉะนั้นตามสมการ (109) จะได้

$$I_e = K \cdot (U_1 + D_1 \cdot U_2 + D_1 \cdot D_2 \cdot U_a)^{\frac{3}{2}}$$

$$I_e = 1 \cdot (U_1 + 0.04 U_2 + 0.04 \cdot 0.04 U_a)^{\frac{3}{2}}$$

$$I_e = (U_1 + 0.04 U_2 + 0.0016 U_a)^{\frac{3}{2}} \quad (mA)$$

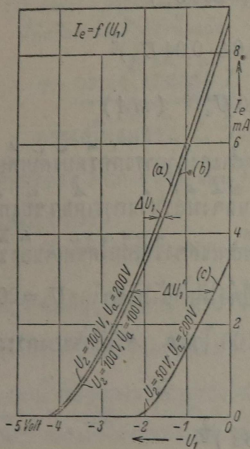
จากผลข้างบนนี้ รู้ได้ว่ากำลังดันฮาโนดต่ำแรงผลการแก่กริดบังคับเพียง 0.16% ของค่าแห่งกำลังดัน เพราะฉะนั้นจึงมีส่วนในการเกี่ยวข้องกับการในกระแสไฟโอมิซันยากเต็มที่ เพื่อจะแสดงให้เห็นได้ชัดเจนนยิ่งขึ้น จึงขอสมมติค่าสำหรับ U_2 และ U_a โดยทำให้กำลังดันฮาโนด $U_a = 200$ โวลต์ และกำลังดันกริดบังคับ $U_2 = 100$ โวลต์ จะได้ค่าของกระแสไฟโอมิซัน

$$I_e = (U_1 + 4 + 0.32)^{\frac{3}{2}}$$

ตามผลที่ได้ดังมานี้ กำลังดันของฮาโนดต่ำแรงผลแก่กริดบังคับเพียง 0.32 โวลต์

คราวนี้ใส่ค่าตัวเลขสำหรับกำลังต้นกริด U_1 (ระหว่าง 0 กับ -4.32 โวลต) ลงแล้วคำนวณหากระแสไฟอิมิชันจากค่านี้ จะได้เส้นโค้งลักษณะ $I_e = f(U_1)$ ดังแสดงอยู่ในรูป ๑๒๘ สำหรับ $U_2 = 100$ และ $U_2 = 200$ โวลต. (เส้นโค้ง a)

ปล่อยให้ U_2 ประจำคงที่ (= 100 โวลต.) แล้วลด U_1 ลงเป็น 100 โวลต. และคำนวณหาค่าของกระแสไฟอิมิชัน I_e อันสัมพันธ์กันอยู่ กับกำลังต้นกริด U_1 ในทำนองที่กล่าวแล้วข้างต้น จะได้มีผลเป็นเส้นโค้ง



b ของรูป ๑๒๘ จากเส้นโค้งทั้งสอง (a และ b) นี้ ทำให้เรารู้ได้ชัดเจนว่า อิทธิพลของกำลังต้นกริดต่ำแต่ต่อกระแสไฟอิมิชันน้อยเต็มที่

ในอาการตรงกันข้าม ทดลองวัดหาเส้นโค้งทั้งสองนี้มา แล้วคำนวณหาค่าผลคูณของตัวคูณทวีคูณ $D_1 \cdot D_2$ ผลอันนี้หาได้โดย ΔU_1 และ ΔU_2 (สำหรับ ตัวอย่าง ที่ปรากฏ ข้างต้นนี้ $\Delta U_2 = 200 - 100 = 100$ โวลต.)

รูป ๑๒๘ แสดงเส้นลักษณะ กระแสไฟอิมิชันที่คำนวณได้ของหลอด ที่มีกริดก้ำบัง [$I_e = f(U_2)$]

จะได้

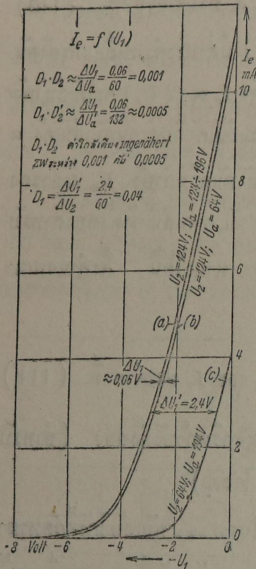
$$D_1 \cdot D_2 = \frac{\Delta U_1}{\Delta U_a} \text{ เมื่อ } U_1 \text{ และ } I_e \text{ ประจำคงที่} \quad \dots (110)$$

ที่ปล่อยให้ U_a ($= 200$ โวลต์) มีค่าประจำ เปลี่ยนค่าตั้งต้น U_2 ไปเป็น 50 โวลต์ และคำนวณค่า $I_e = f(U_1)$ จะได้เส้นโค้งลักษณะ c ในรูป ๑๒๘ จากการเปรียบเทียบเส้นโค้งที่กล่าวนี้กับเส้นโค้ง a ทำให้รู้ได้ว่า อิทธิพลอันแรงกล้าของกำลังต้นกริดก้ำบัง U_2 นั้นแสดงต่อค่าบดที่เส้นโค้งลักษณะกริดโฟลิมิชั่น จากเส้นโค้งทั้งสองสำหรับลักษณะของทางเดินเส้นโค้งที่ทำการทดลองหาได้นี้ จึงคำนวณหาตัวชุกริฟ D ได้คือ

$$D = \frac{\Delta U_1}{\Delta U_2} \text{ เมื่อ } U_a \text{ และ } I_e \text{ ประจำคงที่} \quad (111)$$

ในที่นี้เป็นความต้านระหว่างกำลังต้นกริดก้ำบังทั้งสอง (สำหรับตัวอย่างที่กล่าวนี้คือ $100 - 50 = 50$ โวลต์).

เปรียบเทียบเส้นโค้งที่คำนวณได้ในรูป ๑๒๘ กับเส้นโค้งที่วัดหามาได้รูป ๑๒๙ จะได้ พบผลแห่งการสัมพันธ์สอดคล้องกันทั้งทางทฤษฎีและทางทดลองอันเป็นหลักได้อย่างดี นอกจากอาการผิดแผกที่กำหนดอันคิดว่าจะมีได้โดยกระแสไฟว์เริ่มเดินในตอนต้นของเส้นโค้ง ตามรูป ๑๒๘ เส้นโค้ง a แสดงให้เห็นว่า สำหรับกำลังต้นอาโนดจาก 124 ถึง 196 โวลต์ ไม่มีการเคลื่อนที่ของเส้นโค้งลักษณะที่จู่ๆ จะบังเกิดขึ้นต่อไป นี่หมายความว่า ผลคูณของตัวชุกริฟ $D_1 \cdot D_2$ สำหรับ U_a ที่สูงกว่า 124 โวลต์นั้น จะมีค่าเล็กลง



รูป ๑๒๕ แสดงเส้นโค้งลักษณะกระแส
ไฟอมิซันที่คำนวณได้ของหลอดที่มี
กริดบัง $I_e = f(U_1)$ [AF7,
อาโนดกับกริดหุ้มต่อกัน]

จากเส้นโค้งลักษณะใน

รูป ๑๒๕ จะได้ค่าที่ทดำนวนตาม

(110) และ (111) $D_1 = 0.04$

และ $D_1 \cdot D_2 = 0.001 \div 0.0005$

ตัวประจํา K หาได้ด้วย

กระแส I_{eo} โดย $U_a = 0$

ตาม (109)

$$\bar{K} = \frac{I_{eo}}{(D_1 \cdot U_2 + D_1 \cdot D_2 \cdot U_a)^{\frac{3}{2}}} \quad (112)$$

จากเส้นโค้งลักษณะที่วัด

มาได้ a ดังในรูป ๑๒๕ นั้น $I_{eo} =$

11.4 mA อันมีค่าของตัวประ

กอบอยู่ด้วย คือ $D_1 = 0.04$,

$D_1 \cdot D_2 \approx 0.001$, $U_2 = 124V$

และ $U_a \approx 124V$ ตาม (112)

หาได้

$$K = \frac{11.4}{(0.04 \cdot 124 + 0.001 \cdot 124)^{\frac{3}{2}}}$$

$$= \frac{11.4}{(4.96 + 0.124)^{\frac{3}{2}}} = \frac{11.4}{(5.084)^{\frac{3}{2}}}$$

$$K = \frac{11.4}{11.2} = 1.018 \text{ mA/V}^{\frac{1}{2}}$$

ค. กระแสไฟอานอด I_a

กระแสไฟอิมิตชัน I_o แยกตัวออกไปยังกริดก้ำบังและไปยังอานอด
ทั้งนี้เนื่องจากกริดก้ำบังค้ำอยู่ในลักษณะเป็นลบ การแจกกระจายกระแส
ไฟนเป็นไปตามกฎของทั้งค โดยที่ตามปกติ $U_o > U_a$ และไฟฟ้าประจุ
ห้วงว่างระหว่างกริดก้ำบังกับอานอดอาจไม่ค้ำนังถึงได้ ภายใต้ข้อสมมติ
ที่ว่า ไม่มีการแตกเปลี่ยนแห่งออิเล็กทรอนเซกันค้ำบังเกิดชนโค่นเอง
จึงได้จำนวนกระแสไฟอานอด I_a ตามแนวของสมการ (87)

$$I_a = \frac{I_o}{1 + K_1 \sqrt{U_o/U_a}}$$

$$I_a = \frac{I_o}{1 + K_1 \sqrt{U_o/U_a}} \quad \dots \dots \dots (113)$$

ตัวประจำ K_1 ในท่นปรากฏว่าขึ้นอยู่กับขนาดต่างๆ ของหลอดทั้งปรากฏ
ความลัมพันธ์อยู่ในสมการ (86)

$$K_1 = \frac{F_s}{F_o''} \cdot \sqrt{\frac{a}{b}}$$

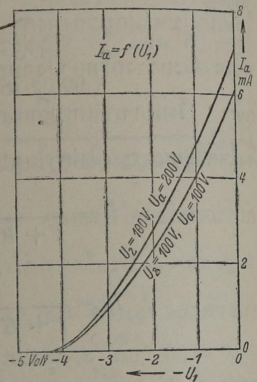
ขอทควรสังเกตเพิ่มเติมค่นท่นทกคอสสมการนี้ใช้ได้นะเพาะ แต่เมื่ออยู่ภาย
ใต้ออกำหนดที่ว่า บรรดาออิเล็กโทรวดเบนขนานกันและค่าของ b ท่น
หมายถึงระยะห่างของกริดที่อยู่ห่างจากคาโทด . ส่วนในออิเล็กโทรวด

เป็นรูปกะบอก สมการ (86) ใช้ไม่ได้อีกต่อไป ฉะนั้นทางที่นับว่า
สะดวกก็คือ หาค่าของ K_1 เอาจากการทดลอง
ตามผลที่ทำการทดลองจะได้ค่าของตัวแปรจำตามแนวของสูตรทั้งค. (85a)

$$K_1 = \frac{I_2}{I_a} \cdot \sqrt{\frac{U_a}{U_2}} \quad \dots \quad (114)$$

I_2 เป็นกระแสที่หลอดทึบที่ถุกกริด
กำลังจับเอาไว้ เพื่อให้สมการ (113)
เห็นแจ่มแจ้งยิ่งขึ้น จึงกำหนดค่าของ
 $K_1 = 0.4$ แล้วคำนวณจากเส้นโค้ง
ลักษณะในรูป ๑๒๘ หาค่าของเส้นโค้ง
ลักษณะกระแสไฟฟาโนด ตาม สมการ
(113) สำหรับ $U_2 = 100$ โวลต์
และ $U_a = 100, 200$ โวลต์ตามลำดับ
จากค่าเหล่านี้จะได้เส้นโค้ง ลักษณะ
 $I_a = f(U_1)$ ดังในรูป ๑๓๐

นำเอาค่าของกระแสไฟฟาโนดจาก
(109) ใส่ลงใน (113) จึงได้กระแส
ไฟฟาโนด



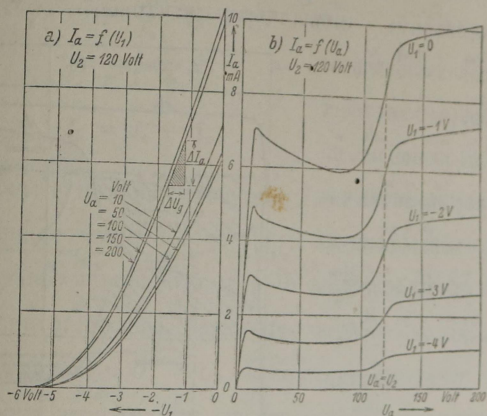
รูป ๑๓๐ แสดงเส้นโค้งลักษณะ
กระแสไฟฟาโนด $I_a = f(U_1)$
ที่คำนวณได้ของหลอดที่มีกริดกั้น

$$I_a = \frac{K \cdot (U_1 + D_1 \cdot U_2 + D_1 \cdot D_2 \cdot U_a)^{\frac{3}{2}}}{I + K_1 \cdot \sqrt{U_2 \cdot U_a}} \quad (113a)$$

๕๔ การเมื่อใช้ค่าของ K ตามที่สมมติให้ข้างต้น จะได้เส้นลักษณะ $I_a = f(U_1)$ อย่างเดียวกันกับที่อยู่ในรูป ๑๓๐

๖. อิทธิพลของ อิเล็กตรอนเซกันดารี กระทำแก่รูปทางเดิน
เส้นโค้งลักษณะ

ความสัมพันธ์ที่กล่าวแต่ก่อน ใช้ได้เฉพาะภายใต้ข้อกำหนดที่ว่า ไม่มีการแตกเปลี่ยนแก่งอิเล็กตรอนเซกันดารีบังเกิดขึ้น ข้อกำหนดอันส่วนมากไม่ค่อยจะเป็นไปได้ ทั้งนี้เป็นด้วยความผิดแผกกระหว่าง



รูป ๑๓๑ แสดงเส้นโค้งลักษณะกระแสไฟฟ้าของหลอดกริด
กำลังฟรีเวทขึ้นสูง

a) $I_a = f(U_1)$ เมื่อ U_a ประจำ

a) $I_a = f(U_a)$ เมื่อ U_1 ประจำ

[A17 กริดห้ามและอานิคต้องถึงกัน]

$$\frac{I_a}{I_c} = K_1 \cdot \sqrt{\frac{U_a}{U_c}} = K_1 \quad \dots \quad (114a)$$

ได้ แล้วคำนวณหาตัวประจำ แห่ง รูปทางเดิน ของ กระแสไฟฟ้าใน
และ กระแสไฟกริด กำบังตาม (113) จากอัตราส่วน ของกระแสไฟ
 I_2/I_a โดย $U_2 = U_a$

$$\text{จาก (113)} \quad I_a = \frac{I_c}{1 + K_1 \cdot \sqrt{U_a/U_c}} = \frac{I_c}{1 + K_1}$$

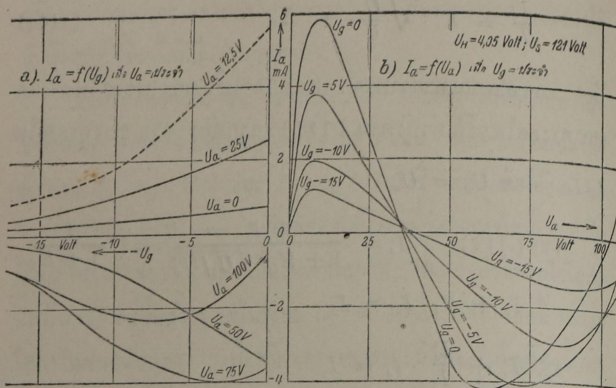
$$I_a + K_1 \cdot I_a = I_c$$

$$I_a + \frac{I_c}{I_2} \cdot I_a = I_c$$

$$I_a + I_2 = I_c$$

$$I_2 = I_c - I_a \quad \dots \quad (115)$$

ดังนั้นจึงได้รูปทางเดินเส้นโค้งลักษณะ $I_a = f(U_a)$ และ $I_2 = f(U_a)$
อันใกล้เคียงที่แสดงด้วยเส้นจุด ๆ ในรูป ๓๓๒ เปรียบเทียบเส้นลักษณะ
ที่คำนวณได้กับเส้นโค้งที่ทำการวัดได้ จึงรู้ได้ว่า สำหรับ $U_a < U_c$
ยังเกิดการแตกเปลี่ยน แห่งอิเล็กตรอนเช่นกัน จากอาโนด ไปยังกริด
กำบัง และสำหรับ $U_a > U_c$ ยังเกิดการแตกเปลี่ยน แห่งอิเล็กตรอน
เช่นกัน ในอาการตรงข้าม โดยที่สำหรับ $U_a > U_c$ นี้ เส้นโค้งที่ทำการ
วัดได้กับเส้นโค้ง ที่คำนวณได้เกือบขนานกัน จึงอาจใช้สมการความ
สัมพันธ์ต่าง ๆ ใน (113) และ (113a) ในลักษณะใกล้เคียงได้ ในข้อ
หาค่าของตัวประจำ K_1 ตาม (114) โดยกำลังค้นอาโนดมีค่าใหญ่กว่า



รูป ๑๓๓ แสดงเส้นโค้งลักษณะกระแสไฟฟาโนดของหลอดกริดบังกับ REN 1204

เมื่อ $U_a < U_g$ ($U_g = U_2 =$ กำลังดันกริดบัง).

กำลังดันกริดบัง เขตที่ใช้ได้ของสัณการณ จำกัดด้วยภายในย่าน $U_a > U_2$

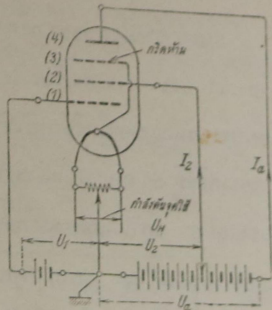
อาการเพี้ยนรูป (Distortion) ของเส้นโค้งลักษณะ $I_a = f(U_a)$ และ $I_a = f(U_g)$ ในเขตที่ $U_a < U_2$ จะเป็นได้น้อยเท่าใดนเห็นได้จาก สันามเส้น โค้ง ลักษณะ ของ หลอดกริดบัง ฟรเควนซีสูง RENS 1204 ในรูป 133a และ 133b ในการขยาย หรือ ทักำลังของฟรเควนซีสูง. เส้นโค้งลักษณะเหล่านี้ มีอาการตกต่ำลงภายในเขตที่ $U_a < U_2$ อันทำให้เกิดมีอาการกลอกในตัวเองขึ้น

๔. หลอดกริดก้ำบังกับกริดห้าม (เพนโทด)

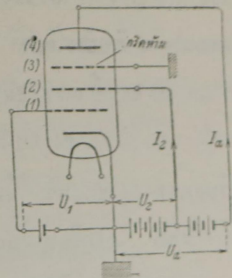
ก. หลอดทวิไป

เพื่อบังกั้นมิให้เกิดการแตก
เปลี่ยน แห่ง อิเล็กตรอน เซกันดารี
จึงได้เอากริดอีกอันหนึ่งได้เพิ่มขึ้น
ในระหว่าง กริดก้ำบัง กับ คาโทด
แต่ว่ากริดอันใหม่นี้เข้ากับคาโทด
และให้มีโปเตนเชียลศูนย์, กริด
อันนี้ที่เรียกกัน ตาม ขรรณคำว่า
“กริดห้าม” อาจต่อดิจกับ
คาโทด ได้สองทาง คือ ต่อกับ

คาโทดเข้าโดยตรง ภายใน ตัวหลอดเอง
ตามรูป ๓๓๕ หรือต่อกับคาโทดภายนอก
หลอดตามรูป ๓๓๕ โดยอาศัยอาการช่วย
เหลือจากกริดห้าม จึงทำให้โปเตนเชียล
ระหว่างคาโนดกับกริดก้ำบังมีค่าน้อยที่สุด
จนกระทั่งอิเล็กตรอนเซกันดารีอันมีความ
เร็ว น้อย ตาม ส่วน ไม่ อาจ ผ่าน
ไปได้



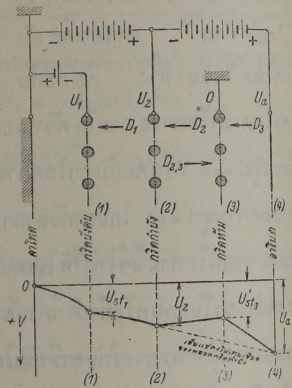
รูป ๓๓๔ แสดงวงจรของหลอด
เพนโทดชนิดเอนคาโทดโดยตรง
คาโทด และกริด ห้ามต่อดังกัน



รูป ๓๓๕ แสดงวงจรของ
หลอดเพนโทด ชนิดเอนคาโทด
โดยวิธีอ้อม และมีกริดห้ามต่อ
*สายออกมาภายนอกหลอด

ข. การแจกกระจาย โปเตนเชียล

อาการ ดำแดง ผดของ กริด ห้าม จะรู้ได้ทันทีจากการพิจารณาอาการแจกกระจายโปเตนเชียล ในรูป ๑๓๖ ทางเดินของโปเตนเชียลสอดคล้องต้องกับหลอดที่มีกริดกำลังนับแต่คาโทด จนถึงกริดกำลัง ส่วนระหว่างกริดกำลัง กับอาโนดสำหรับหลอดกริดกำลังนั้น โปเตนเชียลจะขึ้นเสมอ แต่ในหลอดเพนโทด อันเนื่องมาจากมีกริดบังคับ ทำให้โปเตนเชียลลดต่ำลง อาการตกต่ำของโปเตนเชียลภายในพื่นของกริดห้าม (3) นี้จะต้องเลือกให้เข้าลักษณะที่ว่าโปเตนเชียลจะถูกระงับไว้ที่แค่งจากกำลังของ อิเล็กตรอนไฟรมาร้อย่างเดียว ไม่ใช่จากกำลังของ อิเล็กตรอน เซกันดารี คือ เป็น กำลังโดย โปเตนเชียลตกต่ำลงใน ระหว่าง พื่นของกริดบังคับ และกริดห้ามอันน้อยที่จะให้มาได้ ทั้งนี้เนื่องจาก อิเล็กตรอน เซกันดารี มีความเร็วแค่เพียงเล็กน้อย



รูป ๑๓๖ แสดงรูปทางเดินของเส้นโปเตนเชียลในหลอดเพนโทดชนิดมีกริดกำลังและกริดห้าม

ไปเค้นเชียดลำแดงผลที่แสดงอาการ อยู่ในพื้นของกริด (1) นี้
เรียกว่ากำลังดินบังคับเหมือนกัน อันจะหาได้ ตามท่านของรองสมการ
(97a) $U_{st_1} = U_1 + D_1 \cdot U_2 + D_1 \cdot D_2 \cdot U_3$ โดยเปรียบเทียบ
กับรูป ๑๓๖ จะเห็น

$$U_{st_1} = U_1 + D_1 \cdot U_2 + D_1 \cdot D_2 \cdot U_3 + D_1 \cdot D_2 \cdot D_3 \cdot U_4 \dots (116)$$

หรือตามเกณฑ์สัมพัทธ์ว่ากำลังดินกริดห้าม $U_3 = 0$ จะได้

$$U_{st_1} = U_1 + D_1 \cdot U_2 + D_1 \cdot D_2 \cdot D_3 \cdot U_4 \dots (116a)$$

ส่วนที่ประกอบกับกำลังดินอาโนด $D_1 \cdot D_2 \cdot D_3 \cdot U_4$ นั้นค่าน้อยมาก จน
อาจตัดทิ้งได้

ไปเค้นเชียดลำแดงผลของกริดห้าม ที่จำเป็นสำหรับใช้หาอาการ
แจกกระจายของกระแสไฟ จะได้ตามแนวพิจารณาสมการ (99) อัน
เปรียบกับรูป ๑๓๖

$$U'_{st_3} = D_{23} \cdot U_2 + 0 + D_3 \cdot U_4 \dots (117)$$

ตัวรีดกริฟฟ D_{23} และตัวรีดกริฟฟ D_3 ในที่นี้จะต้องเลือกให้เหมาะกับ U_4
และ U_2 ที่กำหนดให้ในลักษณะที่ว่า U'_{st_3} มีค่าเล็กกว่า U_2 เล็กน้อย
เพื่อบ่งบอกให้ทราบถึงการแตกเปลี่ยนหรือแตกทรอนเซชันลงมาถึงดิน

ก. กระแสไฟอิมิชัน I_e

ในหลอดเพนโทดที่ห้วงว่างระหว่างคาโทดกับกริดก้ามจะถูกบังคับตามกฎของไฟฟ้าประจุห้วงว่างอย่างเดียวกันกับหลอดกริดก้าม ตามแนวของสมการ (45a) หรือ (65) โดยอาศัยกำลังดันกับ U_{a1} เข้าช่วย จาก (116a) ก็จะได้กระแสไฟอิมิชัน

$$(45a) \quad I_e = K \cdot U_a^{\frac{3}{2}}$$

$$I_e = K \cdot (D_1 + D_1 \cdot U_2 + D_1 \cdot D_2 \cdot D_3 \cdot U_a)^{\frac{3}{2}} \quad (118)$$

ตัวประจำ K นี้อาศัยเกณฑ์จากพจน์ของกริด 1 และอาจกำหนดค่าได้โดย (67) และ (67a) ตามลำดับ D_1 D_2 และ D_3 นี้เป็นค่าของตัวขั้วกริฟฟอนหนึ่ง ๆ ฉะนั้นทางเดินผลรวมของเส้นโค้งลักษณะ $I_e = f(U_1)$ จาก (118) จะเป็นไปตามอย่างหมู่เส้นโค้งสำหรับหลอดกริดก้ามในรูป ๓๒๘ และความแตกต่างอันเล็กน้อยระหว่างเส้นโค้งลักษณะกระแสอิมิชันของหลอดกริดก้ามและของหลอดเพนโทดนี้ ดังแสดงให้เห็นว่า สำหรับหลอดชนิดสุดท้ายนี้ อิทธิพลของกำลังดันโนดกริดทำต่อรูปทางเดินของเส้นโค้งในลักษณะเช่นนี้ น้อยกว่าที่แสดงในหลอดกริดก้ามเสียอีก

ง. กระแสไฟอาโนด I_a

ในการหากระแสไฟอาโนดนี้เริ่มต้นจากการแจกกระจายของกระแสไฟ สำหรับหลอดเพนโทดนี้คือการแจกกระจายของกระแสไฟในระหว่าง

กริดกับขั้วของกริดห้าม (รูป ๓๓๖) กระแสอิเล็กตรอน I_e ที่ไหลผ่านขั้วของกริดห้ามนั้นไหลไปด้วยจำนวนทั้งหมดเข้าไปยังแอโนดในเมื่อ U_2 สูงกว่าโตนเซียลค่าแรงผล U_{e2} ซึ่งกระทำอยู่ที่ขั้วของกริดห้าม ภายใต้หัวข้อจากค่อน I_a จึงเท่ากับกระแสไฟฟาโนด I_e การแจกกระจายกระแสไฟฟาเองนั้นเป็นไปตามกฎทั่วๆ ตามข้อ ๖ ของค่อน U_2 เท่ากับ U_{e2} ใกล้เคียง และอิเล็กตรอนที่วิ่งผ่านขั้วของกริดห้ามไปแอโนดเข้าไปถึงสนามอัตราเร่ง (Accelerated field) กระแสไฟฟาโนดนั้นหาได้ตามกฎทั่วๆ ในเมื่อได้ค่าใน (87) U_2 แทนด้วย U_2 ของกริด (2) และสำหรับ U_2 แทนด้วยโตนเซียลค่าแรงผล U_{e2} (117) ของพินกริดห้าม จะได้

$$I_g = \frac{I_e}{1 + K_1 \cdot \sqrt{\frac{U_2}{D_{23} \cdot D_6 + D_3 \cdot U_2}}} \quad \dots (119)$$

ได้ค่าของกระแสไฟฟามีชั้ว I_e อันได้จาก (118) ลงในสมการข้างบนนี้ จะได้กระแสไฟฟาโนดเป็น

$$I_a = \frac{K \cdot (U_1 + D_1 \cdot U_2 + D_1 \cdot D_3 \cdot D_3 \cdot U_3)^{\frac{5}{2}}}{1 + K_1 \cdot \sqrt{\frac{U_2}{D_{23} \cdot U_2 + D_3 \cdot U_2}}} \quad (119a)$$

ตามเกณฑ์กำหนดสมมติให้แสดงมาแล้ว จากเขตกระยะใช้ได้ของสมการ (119) และ (119a) อย่างใกล้เคียง โดย

$$D_3 \cdot U_a > D_{23} \cdot U_2 \quad \dots \quad (120)$$

หรือ

$$U_a > \frac{D_{23}}{D_3} \cdot U_2 \quad \dots \quad (120a)$$

ด้วยสมการ (119), (119a) และสมการ (119b) ค่อยไปข้างหน้า จะใช้ไม่ได้อีกต่อไป ในเมื่อกำลังดันเอาโนดเข้ามาอยู่ใกล้ศูนย์

ในสมการ (119a) น สุ่มที่เป็นกำลังดันเอาโนด $D_1 \cdot D_2 \cdot D_3 \cdot U_a$ อันกระทำต่อกำลังดันบังคับบนน้อยเต็มที่ ซึ่งตามกฎแล้วตัดออกเสียได้ ดังที่เห็นได้จากทางเดินของเส้นโค้งลักษณะกระแสมีชัน $I_a = f(U_a)$

ในรูป ๓๖๒ อาการแห่งกำลังดันเอาโนดกระทำต่อกำลังดันบังคับดังกล่าว แล้ว ใช้ได้มาตั้งแต่สำหรับหลอดกริดก้ำบัง แม้ว่าในหลอดนั้นจะมี

จำนวนกำลังดันเอาโนดตำแหน่งต่อกกริด 1 เป็นจำนวน $D_1 \cdot D_2 \cdot U_a$ สูงกว่ากำลังดันชนิดนี้ ภายในหลอดเพนโทดก็ตาม ด้วยการตัดจำนวนกำลังดัน $D_1 \cdot D_2 \cdot D_3 \cdot U_a$ ออกเสียเช่นกัน จึงทำให้สมการ (119a) เปลี่ยนรูปเป็น

$$I_a = \frac{K \cdot (U_1 + D_1 \cdot U_2)^{\frac{3}{2}}}{I + K_1 \cdot \sqrt{\frac{U_2}{D_{23} \cdot U_2 + D_3 \cdot U_a}}} \quad \dots \quad (119b)$$

จ. ตัวอย่าง

ในสูตรหรือสมการที่กล่าวมาแต่ข้างบน มีตัวประจำ K และ D_1 อันหาได้จากการใช้สมการ (67) และ (67a) ประกอบหรือ (62a) (63) หรือ (64) ตามลำดับ หรือทำการทดลองวัดหาเอามาจากเส้นโค้งลักษณะ

กระแสไฟอิมิตชัน $I_s = f(U_1)$ ซึ่งใช้กำลังคั่นกริดที่ U_1 ต่างกัน
สองจำนวน (รูป ๗๒๘ และ ๗๒๙) ค่าของตัวคูณทวีคูณ D_1 หาได้โดย
ตรงจาก (111) ซึ่งค่าสำหรับ K, D_1, D_2, U_1 ในสมการ (112)
ปล่อยให้คงที่ได้

การหาค่าของตัวแปรจำอื่นนอกจากนี้ สำหรับในสมการ (119b)
นับว่ายากจนไปอีก ซึ่งค่าของ D_{21} และ D_2 จะหาได้เฉพาะโดยการทด
ลองกับกริดบังคับที่คงที่เท่านั้น วิธีหาค่าของตัวแปรจำที่กล่าว
อย่างใดก็ตามนี้ อาจทำได้ดังตัวอย่างในวงจรไฟฟ้่าประจุที่วาง
ประกอบกับ (104) และ (102) ด้วยค่าที่ได้มานำไปหาค่าของ K , ตาม
สูตรของทั้งๆ (85a)

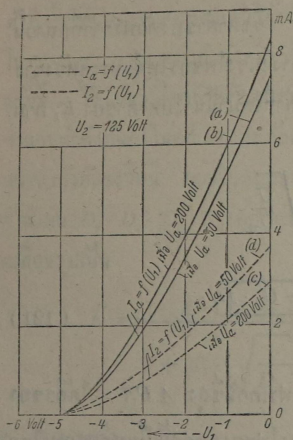
$$\frac{I_a}{I_s} = K_1 \cdot \sqrt{\frac{U_2}{U_1}}$$

$$K_1 = \frac{I_a}{I_s} \cdot \sqrt{\frac{D_{21} \cdot U_2 + U_1 \cdot D_2}{U_2}} \quad \dots \quad (121)$$

ตามผลที่ทำการวัดจากหลอดเพนโทดพีวีคอนวูด AF7 ได้ค่าของ
 $D = 0.04$ (รูป ๗๒๙) [โดยที่วงจรหลอดเป็นหลอดเพนโทด
คือกริดห้ามกับคาโทดต่อกัน เช่น ดังลักษณะกระแสไฟอิมิตชัน
 $I_s = f(U_1)$ จึงเปลี่ยนรูปผลไปจากหลอดกริดที่ U_1 คือ กริดห้ามกับคา
โนดต่อกันนั้นแต่เพียงเล็กน้อยจนไม่อาจสังเกตได้] $K_1 = 1.0 \text{ mA/V}^{\frac{1}{2}}$

(ดูตัวอย่างที่มิเตอร์ประกอบสำหรับสูตร 112), $D_2 = 0,08$ และ $D_3 = 0,1$
 ตัวประจำ K_1 หาได้จากค่าที่วัดได้คือ $I_a = 8,15 \text{ mA}$ และ $I_2 = 2,91 \text{ mA}$
 โดย $U_1 = 0$ ($U_a = 200$ โวลต์, $U_2 = 125$ โวลต์, รูป ๑๓๕a)
 ได้จาก (121) เป็น

$$K_1 = \frac{2,91}{8,15} \cdot \sqrt{\frac{0,08 \cdot 125 + 200 \cdot 0,1}{125}} = 0,175$$



รูป ๑๓๗ เส้นโค้งลักษณะ $I_a = f(U_1)$
 และ $I_2 = f(U_1)$ ที่คำนวณได้ตามสมการ
 (119) และ (122) ของหลอดเพนโทด
 ฟรีเลนซ์สูง AE 7.

จ) การเปรียบเทียบเส้น

โค้งลักษณะที่คำนวณได้กับที่
 วัดได้

รูปทางเดินของเส้นโค้ง

ลักษณะ $I_a = f(U_1)$

ตามทางทฤษฎีของ (119b) นี้
 แสดงให้เห็นได้จากตัวอย่างอันมี
 ตัวเลขประกอบ ในเวลาเดียวกัน
 คำนวณหา รูปทางเดินของ
 เส้นโค้งลักษณะของกริดก้ำบัง

($I_2 = f(U_1)$) จากกฎแห่งการ

แยกสาขาของกระแสไฟ

$$I_2 = I_c - I_a \quad \dots \quad (122)$$

แล้วเอามาแสดงเป็นรูปเส้น
 โค้งประกอบ

โดยการอาศัยตัวประจำที่กล่าวแล้วนี้ หาค่าของกระแสไฟฟาโนด
จาก (119b) สำหรับ $U_a = 200$ โวลต. และ $U_2 = 125$ โวลต.เป็น

$$I_a = \frac{1 \cdot (U_1 + 0.04 \cdot 125)^{\frac{3}{2}}}{1 + 0.175 \cdot \sqrt{\frac{125}{0.08 \cdot 125 + 0.1 \cdot 200}}}$$

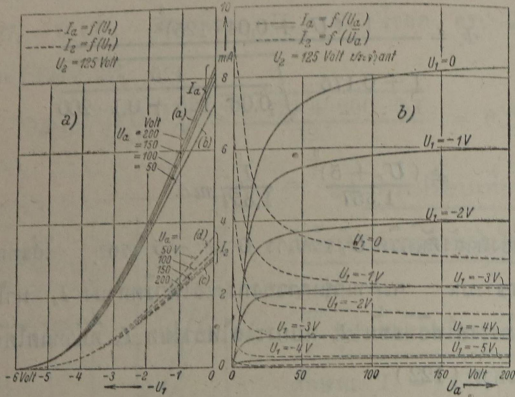
$$= \frac{(U_1 + 5)^{\frac{3}{2}}}{1.357} = \frac{I_c}{1.357} \text{ mA}$$

นำค่าของกำลังดันกริด U_1 ระหว่าง 0 ถึง -5 โวลต. ใส่แทนลงใน
สมการข้างบน จะคำนวณค่าของกระแสไฟฟริดกำลัง I_2 มาได้ตาม
ค่าของกระแสไฟอิมิตชัน I_c คับกระแสไฟฟาโนด I_a ที่กำหนดได้ต่าง ๆ
ตามสมการ (122)

U_1	0	-1	-2	-3	-4	-5	โวลต.
I_c	11.2	8	5.2	2.83	1	0	mA
I_a	8.3	5.9	3.85	2.1	0.74	0	„
I_2	2.9	2.1	1.35	0.73	0.26	0	„

จากค่าในตารางข้างบนนี้ แสดงให้เห็นเส้นโค้งลักษณะ $I_a = f(U_1)$
และ $I_2 = f(U_1)$ สำหรับ $U_a = 200$ และ $U_2 = 125$ โวลต. (เส้น
โค้ง b และ c) ในรูป ๑๑๗ ในทำนองเดียวกันก็หาเส้นโค้งลักษณะ
สำหรับ $U_a = 50$ และ $U_2 = 125$ โวลต. (เส้นโค้ง a และ d) รูป ๑๑๗
ได้เปรียบเทียบเส้นโค้งลักษณะในรูป ๑๑๗ กับเส้นโค้งของหลอดชนิด

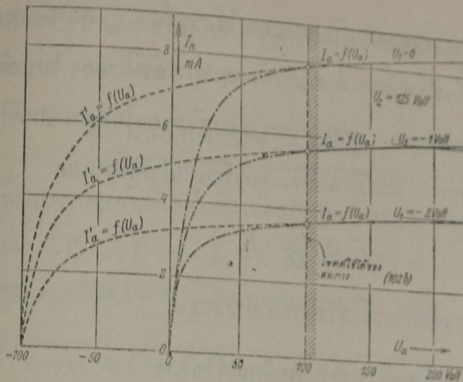
เดียวกันที่ทำการวัดหามาได้ดังในรูป ๑๓๘ a ก็จะมีได้ว่า เส้นโค้งที่ทำการคำนวณได้มานั้นสัมพันธ์ตามเส้น โค้งที่ทำการวัดได้ดังข้อนี้เป็นหลัก



รูป ๑๓๘ แสดงเส้นโค้งลักษณะของกระแสวิกไฟฟ้าโนดที่ทำการทดลองมาได้ จากหลอดเพนโทดฟรีเวนซ์สูง AF7.

คราวนี้ขยายการเปรียบเทียบ ยัดออกไป ถึง เส้น โค้ง ลักษณะ $I_a = f(U_a)$ ต่อไปอีกจึงจะรู้ว่า ความผิดแผกแตกต่างระหว่างเส้นลักษณะที่คำนวณได้ (รูป ๑๓๘) กับเส้นโค้งลักษณะที่ทำการวัดได้ (รูป ๑๓๘ b) จะบังเกิดขึ้น ตรงจุดที่เขตที่ใช้ได้ของสมการ (119b) หมดลง

- สำหรับตัวอย่างที่กล่าวมา ตาม (120 a) จะเป็นที่
- $$U_a = \frac{D_{23}}{D_3} \cdot U_g = \frac{0,08}{0,1} \cdot 125 = 100 \text{ โวลต์}$$



รูป ๑๓๕ แสดงเส้นโค้งลักษณะ $I_g = f(U_g)$
ที่คำนวณได้ของหลอด AF7.

ในกำลังดันขานโคตที่ต่ำๆ ส่วนหนึ่งของอิเล็กตรอนที่อยู่ระหว่างพกริต
ห้ามกับขานโคตจะเฉียดกลับเสีย อันเป็นเหตุทำให้ $I_a < I'$ สำหรับ
กำลังดันขานโคตที่เป็นศูนย์ บรรดาอิเล็กตรอนทั้งหลายที่อยู่ในบริเวณ
ใกล้เคียงกับกริตห้ามจะเฉียดกลับหมด จึงเป็นเหตุทำให้กระแสไฟขานโคต
เป็นศูนย์ ตามรูปเส้นโค้งจุดๆ ของรูป ๑๓๘ จะไม่มีกระแสไฟขานโคต I_a
อีกต่อไป แต่จะมีกระแสไฟที่ไหลผ่านพกริตห้าม I' และสำหรับ
 $U_a = -(D_{23}/D_3) \cdot U_2$ คือว่าสำหรับ $U_a = -100$ โวลต์นั้น
ไม่มีกระแสไฟขานโคตทำนองเดียวกัน เพราะณที่ขานโคตตรงนี้ได้เฉียด
กลับเสียก่อนถึงพกริตบังคับ

ในการใช้หลอดเพนโทดตามทางใช้การนั้น ความผิดแผกของ
 เต้นไค้งอันต่างไปจากทางตำราข้างต้นกล่าวมาแล้วนี้ ไม่สำคัญ
 อะไร เพราะเหตุว่า เราอาจเลือกใช้กำลังดันอาโนดตามปกติให้อยู่ใน
 อัตราส่วนที่ว่า เต้นไค้งลักษณะตอนที่อยู่ในเขตที่กำหนด

$$U_a < \frac{D_{23}}{D_3} \cdot K_u$$

ให้คงดำรงอยู่เป็นระยะที่ไม่ใช้การทำประโยชน์

ช. ชนิดของหลอดเพนโทดที่ใช้การ

ทางใช้การในสมัยนี้ ได้สร้างหลอดเพนโทดสองชนิดด้วยกัน
 คือหลอดเพนโทดสำหรับฟรีควเอนซีสูง กับหลอดเพนโทดสำหรับ
 ฟรีควเอนซีต่ำ

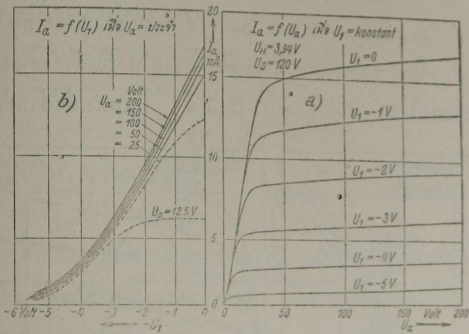
ความแตกต่างกันในทางฟิสิกส์ของหลอดสองชนิดนี้นับว่าไม่
 ความต่างกันคงตกอยู่แก่ส่วนที่เลือกกำหนดเกณฑ์ขนาดต่าง ๆ ตามหลัก
 แห่งไฟฟ้าเป็นส่วนใหญ่

ในหลอดเพนโทดฟรีควเอนซีสูงนั้น มุ่งไปถึงค่าของตัวชกริฟฟ
 น้อย ๆ ความต้านภายในสูง และมีแคแปซิเตอร์หว่างกริดกับอาโนดน้อย
 ส่วนในหลอดเพนโทดฟรีควเอนซีต่ำ หลอดเพนโทดทางจ่ายหรือเรียกว่า
 เพนโทดสุดท้าย (Out put Penthode or End Penthode) นั้น
 พยายามอย่างที่สุดที่จะให้ได้การทวีกำลังพอเพียง กับให้ได้กำลัง

ทางจ่ายสำหรับความต้านภายในต่ำๆ และการเสียดำรงงานน้อยๆ นี้
สูงที่สุดที่สามารถทำได้

๔. หลอดเพนโทดฟรีควีนซ์สูง

เพื่อประกอบกับตัวอย่างซึ่งให้หลอดเพนโทดฟรีควีนซ์สูง H.F.
Penthode AF7 (รูป ๑๓๗) นี้ ยังได้แสดงสนามเดินโค้งลักษณะ
ของหลอด RENS 1284 เป็นเครื่องพิจารณาประกอบอีก (รูป ๑๔๐)



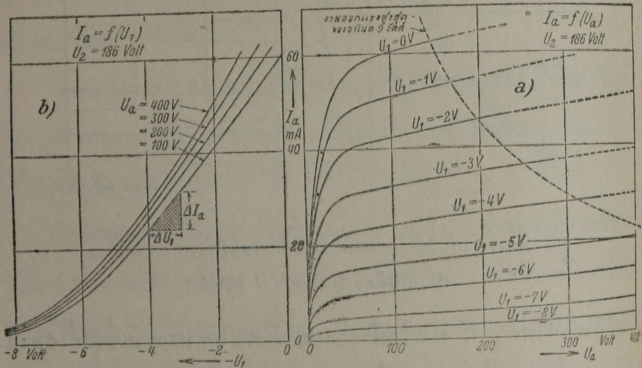
รูป ๑๔๐ เส้นโค้งลักษณะกระแสไฟฟาในของหลอดเพนโทด
ฟรีควีนซ์สูง (RENS 1284)

ตัวกำหนดให้ต่าง ๆ ทางไฟฟ้าของหลอดเพนโทดฟรีควีนซ์สูงทั้งดุ้น
นับว่าใกล้เคียงกันมาก คือความชัน 2 mA/V ความต้านภายใน
 $2 \cdot 10^6 \Omega$ ความแตกต่างกันแห่งรูปร่างภายนอกของหลอดน้อยที่

หลอดต่างกัน กับส่วนประกอบในหลอดแบบใหม่ AE 7 นั้น กริดหุ้ม และเครื่องกำบังไฟฟ้าแยกกันต่างหาก คือในหลอดเพนโทดฟรีเวนซึ่งมีแบบใหม่นั้น กริดบังค์อยู่ที่หัวหลอดแก้วตอนบน และได้มีเครื่องกำบังไฟฟ้ากันสนามไฟฟ้าให้พ้นจากอาโนดอย่างปรานต์ หลอดเพนโทดแต่งบังค์ (Regelpentode) AF 3 ซึ่งจักได้กล่าวในข้อ ๘ ของตอน ๔ ในภาคนี้เข้าอยู่ในชุดเพนโทดฟรีเวนซึ่งด้วยเหมือนกัน

๒ หลอดเพนโทดฟรีเวนชนิดห้าหรือเพนโทดสุดท้าย

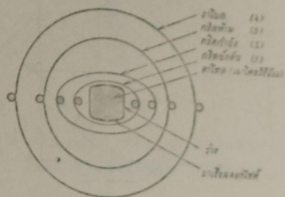
ในรูป ๑๔๑ เป็นรูปแสดงสนามเส้นโค้งลักษณะของหลอดเพนโทดสุดท้าย AL 4 ซึ่งเมคาโทดโดยวิธีอ้อมด้วยกระแสไฟสถับกำลังต้น ๔ โวลต์ ในสนามเส้นโค้งลักษณะ $I_a = f(U_a)$ นี้ ได้แสดงเส้นสำหรับกำลัง



รูป ๑๔๑ เส้นโค้งลักษณะกระแสไฟอาโนดของหลอดเพนโทดสุดท้าย AL 4
(ความชันสูงสุด $S \approx 10 \text{ mA/V}$)

งานที่เสียไปในไอออนสูงสุดที่อนุญาต $N_0 = 9$ วัตต์ คือเส้นจุดๆ แสดง
ความถี่พัลส์ของ $I_{a \max} = f(U_a)$ บนเส้นบังคับพิเศษของหลอด
ชนิดนี้คือ มีความชันสูงผิดกว่าธรรมดา ซึ่งมีจำนวนสูงถึง 10 Am/V
ความชันของกระแสมีมิลลิ S_0 ซึ่งมีจำนวนถึง 12 Am/V (เปรียบเทียบกับ
 $I_0 = f(U_1)$ ของรูป ๑๔๓) การทำให้ความชันสูงผิดปกติได้เช่น
นี้โดยอาศัยหลักการสร้างดัง.

แสดงอยู่ในรูป ๑๔๒ คือคาโทด
นั้นได้เคลือบมาเร็วขึ้นอีกใช้
เพื่อให้มีความไวมากขึ้นเฉพาะ
แต่ตรงด้านที่หันไปสู่กริดอื่นมี
ระยะห่างระหว่างนี้เล็กน้อย
(ประมาณ ๐.๕ มม.) คือระยะ
ห่างระหว่าง คาโทดกับกริดบัง



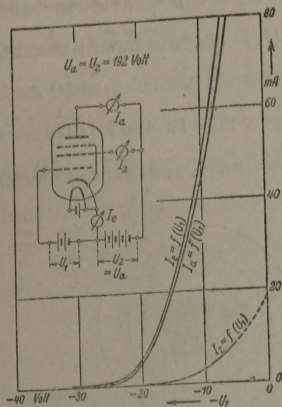
รูป ๑๔๒ แสดงรูปตัดของหลอดอิเล็ก
โทรนในหลอดเพนโทดสุดข้อ AL 4

กับอนจิดเป็นรูปข้อๆ โดยที่ระยะระหว่างคาโทดกับกริดบังกับทำงาน
อยู่ภายในเขตไฟฟ้าประจุห้องว่าง จึงหาความชันของกระแสมีมิลลิ
ได้จากการใช้สมการ (71) และ (116a) ประกอบกัน

$$\text{จาก (71)} \quad S = 1.5 \cdot K \sqrt{U_0 + D \cdot U_a} \quad (\text{A/V})$$

$$\text{จาก (116a)} \quad U_{st1} = U_1 + D_1 U_2 + D_1 \cdot D_2 \cdot D_3 U_3$$

$$\text{ฉะนั้น} \quad S'_0 = 1.5 \cdot K \cdot \sqrt{U_{st1}}$$



รูป ๑๕๓ แสดงกระแสฟิออมิชชัน
กระแสฟิออโนด และกระแสไฟ
กริดกับของหลอดเพนโทดสุดท้าย
AL 4 อันสัมพันธ์กับ U_1

เนอทพนของกริด F'_a ใหญ่และระยะระหว่างกริด (1) กับคาโทด b เล็ก
มาก (ประมาณ ๐.๐๕ ซม.) คาโนดของหลอดนี้ใช้ตัวดักที่เคลือบเป็น
สัปดาห์ เพื่อให้หลอดรักษาอาการเป็นสัญญาณได้ดียิ่งขึ้นประการ
หนึ่ง กับเพื่อให้หลอดเย็นประการหนึ่ง (กำลังทำงานส่วนที่เสียไปใน
คาโนดของหลอดนี้จะต้องจ่ายออกไปได้ ๕ วัตต์) และในการที่จะกำจัด
กำลังไฟฟ้าประจุอันกระทำแก่วัสดุหลอดแก้วให้หมดไปนี้ จึงได้เคลือบผิว

ความชื้นของ กระแสฟิออมิชชันที่ข้าง
กำลังดันบังคับค่าแรงผลซึ่งกระทำ
แก่กริดอันหนึ่ง อันชนอยู่กับ
อเนก โทรตของหลอดนี้ทนถือว่า
เป็นแผ่นแบนขนานกัน ฉะนั้นผลที่
ต้องอาศัยตัวเกณฑ์ประจำแห่งรูป
พรวนของหลอดนี้จึงหาได้ความ
สัมพันธ์ตาม (67) เป็น

$$K = 2.34 \cdot 10^{-6} \cdot F'_a / b^2 \text{ (A/V}^{1.5}\text{)}$$

F'_a และ b ในที่นี้เป็นเนอทค่าแรง
ผลของแผ่นพน กริด กับ ระยะห่าง
ค่าแรงผล ระหว่างกริดกับคาโทด
ตามลำดับ สำหรับหลอดที่กล่าว
แล้ว (AL4) ทำให้มีค่าของความ
ชื้นสูงชัน อย่างมาก มายได้ ก็โดย

ภายในตัวหลอดแก้วนั้นด้วยกราฟไฟท์ใหม่สีดำ

รูป ๑๔๔ แสดงให้เห็น

รูปตัดของอิเล็กโทรูดภายในหลอดอันตั้งฉากอยู่กับคาโทด

สำหรับ

หลอดเพนโทดสุดท้ายนี้ยัง

กำลังทำงานดังกล่าวนั้นไป

อีก (AL 5) ระหว่างคาโทด

โปรฟิตที่เผาโดยวิธีอบ กับ

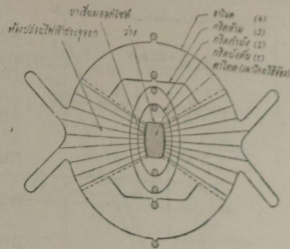
กริดบังคับรูป อีลฟ์ ตรงตอน

ทมระยะแคบรูปของคาโทด

ฮาโนด และของ กริดห้ามชน

เป็น สิ่งที่น่าสัง เกต อย่าง ยิง

คือในคอนนกริดห้าม ทำด้วย



รูป ๑๔๔ แสดงรูปตัดของกราววออิเล็กโทรูด
ในหลอดเพนโทดสุดท้าย AL 5.

แผ่นโลหะที่ตัดทำเป็นมุมฉากยื่นออกมาทั้งสองด้าน เพื่อจากกระแสของ

ห้องปล่อยไฟฟ้าประจุตามอัตราส่วนแห่งระยะห่างระหว่างกริด กับกริด

ห้ามและฮาโนด อันมีส่วนใหญ่กว่ามากนั้นเอง จึงทำให้การที่จุดวาง

อิเล็กโทรูดแบบนั้นพอจะกันมิให้การแตกเปลี่ยนอิเล็กทรอนเช่นกันที่เกิด

ขึ้นได้ ฮาโนดในทันทีทำด้วยวัสดุด้านเคลือบให้ด้วยเหมือนกัน และ

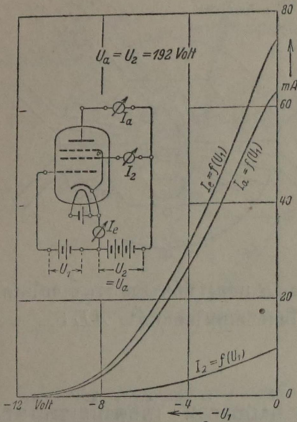
เพื่อจะให้มีการกระจายแผ่ความร้อนส่งออกไปได้ดียิ่งขึ้น จึงได้จัดให้มี

ครีบเป็นปีกยื่นออกไปข้าง ๆ อัน กริดบังคับทมระยะห่างจากคาโทด

น้อยมากนั้นกลไกอันให้ร้อนขึ้น และสามารถให้เย็นลงได้โดยเพิ่มให้มีครีบ

เป็นปีกยื่นออกไปสำหรับระบายส่งความร้อนเพิ่มขึ้น

โดยที่จำกัดเขตคัทโธดของหลอดไฟฟ้าประจุด้วยกริดห้าม จึงทำให้ทางเดินของอิเล็กตรอนเกือบขนานกัน อันทำให้ระเบียนของการจัดวาง



รูป ๑๔๕ แสดงกระแสไฟอิมิชัน กระแสไฟอาโนด และกระแสไฟกริดก้างของหลอดเพนโทดสุดท้าย AL 5 อันสัมพันธ์กับ U_1 (ความชันสูงสุด $S \approx 9 \text{ mA/V}$)

อยู่ภายในร่มของเส้นลวดกริดบังคับ ฉะนั้นจึงเห็นได้ว่าการจัดวางอิเล็กโทรดและส่วนประกอบการจัดวางต่างๆ ของหลอด AL 5 นั้นเป็นแบบสร้างที่นับว่าให้คู่กันด้วยประการทั้งปวงสำหรับใช้เป็นหลอดเพนโทดสุดท้าย

อิเล็กโทรดของหลอด AL 5 เข้ามาเป็นรูปแผ่นขนานกันตามแผนใกล้เคียงดีมาก ความตึกเศษของหลอดชนิดนี้อีกอย่างหนึ่งก็คือกระแสไฟกริดก้าง I_2 คิดตามส่วนแต่น้อยมาก (ดูเส้นโค้งลักษณะรูป ๑๔๕) ซึ่งอัตราส่วนกระแสไฟเมื่อเปรียบเทียบกับกระแสไฟอาโนดของหลอดเพนโทดสุดท้ายแล้วจะมีเพียงประมาณ 1:7 ส่วนสำหรับหลอด AL 5

ขนาดประมาณ 1:9 ผลแห่งอาการจับอิเล็กตรอนของกริดก้างที่มืดเล็กน้อยจะทำให้ดำเร็วได้โดยเหตุที่ว่า เส้นลวดของกริดก้าง

จึงเห็นได้ว่าการจัดวางอิเล็กโทรดและส่วนประกอบการจัดวางต่างๆ ของหลอด AL 5 นั้นเป็นแบบสร้างที่นับว่าให้คู่กันด้วยประการทั้งปวงสำหรับใช้เป็นหลอดเพนโทดสุดท้าย

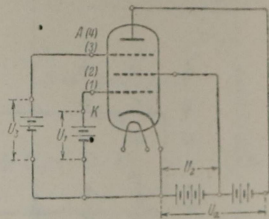
๕. หลอดที่ทำกำรบั้กบั้

ก) ความสามารถแห่งการบั้กบั้กระแสไฟฟาโนดด้วการบั้กบั้

ความสามารถแห่งการบั้กบั้กระแสไฟฟาโนดด้วการบั้กบั้ในหลอดฯ หนึ่งนี้ รั้ได้จากสมการ (100a) หน้า ๒๓๓ ของหลอดทมิกริดไฟฟ้าประจุห้องว่าง คือ

$$I_a = I_c \cdot K_2 \sqrt{\frac{U_1 \cdot D_{12} + U_2 + U_3 \cdot D_{12}}{U_1}}$$

จากสมการนี้ นอกจากที่จะทำให้อำดั้ด้นทกริดคอนทล้ง คือ U_2 ให้เปล่ยนเปล่งไปด้ว ยังทำให้อักระแสไฟอิมชั้ I_c เปล่ยนเปล่งด้ว เมื่อกำรเช่นงบังเกิดความสามารถ ในการที่จะทำให้อำดั้ด้นอาโนดได้รับอิทธิพลจากจำนวนทเป็นได้ล้งจำนวน ในรูป

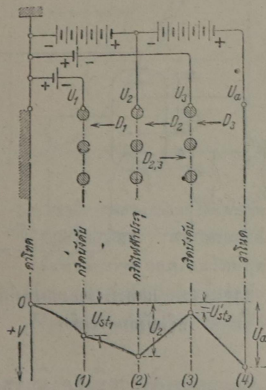


รูป ๑๔๖ แสดวงจรของหลอดทมิกริดบั้กบั้สกริด

๑๒๓ นี เป็นตัวอย่างแสดงให้เห้นว่า จำนวนล้งจำนวนทล้งอิทธิพลต่อกระแสไฟฟาโนดได้คือ โดยกำดั้ U_2 กำดั้หนึ่ง และด้วกำดั้ U_3 ออากำดั้หนึ่ง เพื่อกำรให้ทำกำรบั้กบั้กระแสไฟอิมชั้ในหลอดโดยกำรบั้กบั้ทปรำคจากกำดั้งานและปรำคจากความเน่อยน จึงเอกริดอิก

อันหนึ่งของหลอดที่มีกริดไฟฟ้าประจุห้วงว่างได้เข้าในระหว่างกริดไฟฟ้าประจุห้วงว่างกับคาโทด ด้วยกริดอันใหม่ที่ได้เพิ่มชนนิจสามารถตั้งและบังคับกระแสให้อยู่ในขั้นได้ จากการกระทำเช่นนี้จึงได้หลอดที่มีกริดบังคับสองกริดดังแสดงแผนวงจรไฟอยู่ในรูป ๑๔๖ เพื่อจะทดสอบหลอดกับเองต้นให้เห็นอาการดังกล่าวนี้ จำเป็นจึงต้องใช้หลอดเพนโทดที่มีกริดห้ามต่ออยู่ภายนอก (ดังตัวอย่างของหลอด AF7 ในรูปวงจร ๑๓๕)

ข) การแจกกระจายของโปเตนเชียล



รูป ๑๔๗ แสดงรูปทางเดินของเส้นโปเตนเชียลในหลอดที่มีกริดบังคับสองกริด (หลอดบังคับคู่)

อัตราส่วนสัมผัสพื้นที่ของ โปเตนเชียล อย่างใกล้ชิด เคียง ของหลอดที่แสดง อยู่ในรูป ๑๔๖ นั้น แสดงให้เห็นรูปประกอบกับเส้นโปเตนเชียลอยู่ในรูป ๑๔๗ ระหว่างคาโทดกับกริด (2) อันเป็นกริด ไฟฟ้าประจุห้วงว่าง มีรูปทางเดิน ของ โปเตนเชียลถูกบังคับด้วยกำลังของไฟฟ้าประจุ กระแสอิเล็กตรอนที่ออกจากคาโทดบินผ่านตามไฟฟ้าประจุเข้าไปจนถึงกริด (2) ตามกฎของไฟฟ้าประจุ ห้วงว่าง (65) คือจากกริดอันที่สองไปนี้ ความเร็ว

ของอิเล็กตรอนซึ่งมากเสียแล้ว จึงนับได้ว่าจากทฤษฎีจนถึงอาโนด ไฟฟ้าประจุห้วงว่างไม่มีอาการสำคัญอันใดอีก ในชั้นแรกเราคัดเอาอาการที่กล่าวนี้ออกเสียจากการพิจารณาที่จะกล่าวต่อไป

ในระหว่างกริด (2) กับกริด (3) นี้ กริดบังคับเป็นกริดอันที่สอง คือกริด (3) มีโปเตนเชียลตกอยู่ดังในหลอดเพนโทด (เปรียบเทียบรูป ๓๓๖) และอาการโปเตนเชียลตกนี้ว่าใหญ่กว่าในหลอดเพนโทดเป็นอันมาก ทั้งนี้เป็นด้วยทกริด (3) นั้นกำลังดันลบค้อยู่

โปเตนเชียลต่ำแรงผลของกริด (3) รูป ๔๔๘ ซึ่งขณะเป็นกริดบังคับอันที่สอง จะให้ค่าของกำลังดันดังในหลอดเพนโทดอันเป็นไปตามสมการ (117)

$$U'_{s3} = D_{23} \cdot U_2 + U_3 + D_{31} \cdot U_1 \quad \dots (123)$$

ซึ่งมีความต่างกันอยู่เพราะกำลังดันที่ตกอยู่กับกริด (3) คือ U_3 ไม่เป็นศูนย์เท่านั้น แต่เป็นกำลังดันลบและเป็นกำลังดันน้อยกว่ากำลังดันในหลอดเพนโทด สำหรับหลอดที่บังคับด้วยกริดคู่ตามหลักทั่วไป

$$U'_{s3} < U_2 \quad \dots \dots \dots (124)$$

ด้วยอาการเช่นนี้ การแจกกระจายกระแสไฟระหว่างกริด (2) กับพื้น

ของกริด (3) จึงเป็นไปตามเขตที่กำหนดของเบโด้ว ไปเด่นชัด
ต่ำเต่งผดหรือกำดัดต้นบังคับของกริด (1) จะได้จาก (116) เป็น

$$U_1 = U_1 + D_1 \cdot U_2 + D_1 \cdot D_2 \cdot U_3 + D_1 \cdot D_2 \cdot D_3 \cdot U_4 \dots (125)$$

หรือเมื่อคิดเลขพวกตอนท้ายต้องพอกจากข้างท้าย ของสมการนั้น ออกเสีย
ทรงนเป็นด้วยอัตรพลของเลขต้องหัดหัดออกน มคานอยมาก ดังได้เคย
แสดงมาแล้วแต่ในคอนก่อน จึงได้

$$U_{st_1} = U_1 + D_1 \cdot U_2 \dots \dots (125a)$$

ก) กระแสไฟอิมิชัน I_e

ในระหว่างคาโตนกับกริด (1) ของรูป ๓๔๗ มีไฟฟ้าประจุห้วงว่าง
ตามกระแสอิเล็กตรอนที่เดินผ่านพน ของกริด (1) คือ เป็นกระแสไฟ
อิมิชัน I_e อันเป็นไปตามกฎไฟฟ้าประจุห้วงว่าง

$$I_e = K \cdot U_{st_1}^{\frac{3}{2}} \dots \dots \dots (126)$$

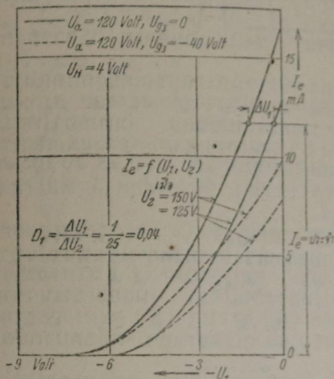
เมื่อนำค่าของกำดัดต้นบังคับ U_{st_1} จากสมการ (125a) ได้ลงในสมการ
ข้างบนนี้ จะได้กระแสไฟอิมิชันของหลอดบังคับคู้

$$I_e = K (U_1 + D_1 \cdot U_2)^{\frac{3}{2}} \dots (126a)$$

ตัวประจํา K ในที่นี้ได้วิเคราะห์ไว้ตาม (67) คือ

$$K = 2.34 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{F'_a}{b^3} \quad (A/V^m)$$

ซึ่ง F'_a เป็นเนื้อหาของพลาสมาของกริด (1) และ b เป็นระยะห่าง



รูป ๑๔๘ แสดงเส้นลักษณะกระแส
อิมิชันของหลอดนํ้ามัน (AF7 ซึ่งใช้
กริดห้ามเป็นกริดบังคับอันที่สอง)

ของกริดจากคาโทด

กระแสฟิสิกส์ I_c นี้
ทางใช้การถือว่าจะมีค่ามาก
น้อยเท่าใดขึ้นอยู่กับ U_1 และ
 U_2 เป็นเกณฑ์ เมื่อเปลี่ยน
ค่าของกำลังดัน U_2 ไป เช่น
โค้งลักษณะ $I_c = f(U_1)$
จะเลื่อนตัวไปดังในหลอดนี้
กริดเดียว ในเมื่อทำให้กำลัง
ดันอาโนดเปลี่ยนแปลง (ตรง
๑๔๘) จากเส้นลักษณะเหล่านี้
จึงหาค่าของตัวทวีคูณที่ได้
อย่างถูกต้องแล้วแต่ข้างต้น

คุณสมบัติ (67) และ (111) การที่ยอมอนุญาตให้คัตดาวน์ U_a และ U_2
อันต่ำลงอาจการเป็นกำลังดันบังคับอยู่ในสมการ (126a) แต่โดยนี้ การ
ทดลองได้แสดงผลยืนยันให้เห็นพอเพียงแล้วว่าใช้ได้ หากกำลังดัน U_2
มีค่าเป็นลบแรงมาก ก็ย่อมจะรู้ได้จากเส้นโค้งลักษณะ ที่เป็นเส้นจุด

แห่งรูป ๑๔๘ โดยเส้นโค้งลักษณะกระแสไฟมีชั้นลาดต่ำลงจนถึงเกิด
ได้ กำลังดัน U_s นี้ มีได้ถ้าแรงอิทธิพลต่อกำลังดันบังคับ ของ สมการ
(126a) แต่จะแสดงผล ต่อตัวประจำ K สำหรับกำลังดัน ทกริต (3)
เป็นลบแรงมาก (รูป ๑๔๗) อิเล็กตรอน เดียวถูกดึงแยกก่อนถึง
กริต (3) แล้วบินกลับเข้าไปสู่กริต (2) โดยอาการที่วุ่น ทำให้ความแน่น
ของกระแสไฟในกริต (2) ทว่สูงชัน ซึ่งเป็นส่วนที่จะทำให้ ค่าของตัว
ประจำ K ใน (126a) ต่่น้อยลง ปรากฏการณ์เช่นเดียวกับที่กล่าว
ก็อาจสังเกตเห็นได้จากหลอดท่มีกริตเดี่ยวเหมือนกัน ในเมื่อทำให้กริต
เป็นบวกและอาโนดเป็นลบซึ่งได้แสดงให้เห็นมาแล้วในรูป ๘๕, ๘๖ และ ๘๗

ง) กระแสไฟอาโนด I_a

ด้วยการรยภาพประกอบ กับความเข้าใจแห่งความสัมพันธ์ในทาง
ฟิสิกส์ของหลอดบังคับคลื่น ย่อมทำให้มองเห็นได้ว่า เมื่อยึดเอาแนวจาก
อาการบังคับของกริต (3) รูป ๑๔๗ นั้น เป็นหลักแล้ว หลอดบังคับคลื่น
ก็คงเป็นอย่างหลอด ท่มีกริตไฟฟ้าประจุห้วงว่างได้ เพราะว่ากระแสไฟ
อิมพัลส์ I_o ของหลอดนั้น ถูกบังคับคงอยู่ด้วยอาการของกริต (1) การ
บังคับกระแสไฟอาโนด I_a ของหลอดบังคับคลื่นคล้ายคลึงอย่างเดียวกับ
หลอดท่มีกริตไฟฟ้าประจุห้วงว่างอันใช้วิธีบังคับการแจกกระจายกระแสไฟ
ระหว่างกริต (2) กับ อาโนดโดยกริต (3) การบังคับกระแสไฟอาโนด
ตามวิธีนี้ ทำสำเร็จได้ ก็โดยที่ระหว่างกริต (2) และกริต (3) นั้นมี
ไปเดินเซียดคกอย่างแรงต่ำแดงอยู่ภายในเขตค้ของเบโด้ว ตามความ
เห็นเองจึงเสนอให้หากระแสไฟอาโนดสำหรับรายที่แล้วมาได้โดยวิธีเดวเมื่อ
ใช้กฎของเบโด้ว (88) หน้า ๒๐๔ หรือ (100) หน้า ๒๓๓

$$I_a = I_o \cdot K \cdot \sqrt{\frac{U_{a3}}{U_2}} \quad \dots \quad (127)$$

นำค่าแห่งโปเตนเชียลต่ำแรงผลของกริด (3) จากสมการ (123) ได้ลง
ในสมการข้างบนนี้จะได้อำนาจของกระแสไฟฟาโนด I_a เป็น

$$I_a = I_o \cdot K_2 \cdot \sqrt{\frac{D_{23} \cdot U_2 + U_3 + D_3 \cdot U_a}{U_2}} \quad \dots \quad (127a)$$

สมมติเอาอย่างแน่นอนว่า สมการ^๕ ให้กระแสอิเล็กตรอน I_a' อันเป็น
กระแสที่เดินผ่านตลอด^๕ พนของกริด (3) แต่ทว่า (I_a') ^๕ เท่ากับกับกระแส
ไฟฟาโนด I_a คือ หมายความว่า บรรดาอิเล็กตรอน^๕ ทั้งหมดนั้น^๕ เดินผ่าน
ตลอด^๕ พนของกริด (3) เข้าไปสู่อานอดทั้ง^๕ สิ้น ในเมื่อการทั่วไปเตนเซียล
ข้างหลังกริด (3) ^๕ นปรากฏอยู่ และโปเตนเซียล^๕ ดังกล่าวโปเตนเซียล
ตกระหว่างกริด (2) กับกริด (3) ด้วย จะเป็นเช่น^๕ วานใดก็^๕ คอยเมื่อ

$$\begin{aligned} D_3 \cdot U_a &> D_{23} \cdot U_2 \quad \dots \quad (128) \\ \text{หรือ} \quad U_a &> U_2 \cdot \frac{D_{23}}{D_3} \end{aligned}$$

ระยะของเขตที่ใช้ได้สำหรับสมการ (127a) นั้น^๕ แม้โดย^๕ ย่อมจำกัด^๕ อยู่ด้วย
(128a) ในหลอดเพนโทดก็จะต้องจำกัดเขต^๕ ที่ใช้ได้ของสมการ (120a)
ทำนองคล้ายคลึงกัน คือ นำเอาค่าของกระแสไฟฟิมัชนันจาก (126a)
ได้ลงใน (127a) ก็จะได้ ส่วน^๕ ที่กระแสไฟฟาโนด I_a ขาคัย^๕ ขนอยู่
ทั้งหมดเป็น

$$I_a = K \cdot (U_1 + D_1 \cdot U_2)^{\frac{3}{2}} \cdot K_2 \sqrt{\frac{D_{23} \cdot U_2 + U_3 + D_3 \cdot U_a}{U_2}} \quad \dots (127b)$$

เมื่อรวมค่าประจำ K และ K_2 ให้เป็นค่าเดียวเสียและแทนด้วย

$$K_3 = K \cdot K_2 \quad \dots \dots \dots (129)$$

จะได้กระแสไฟฟาโนตเป็น

$$I_a = K_3 (U_1 + D_1 \cdot U_2)^{\frac{3}{2}} \cdot \sqrt{\frac{D_{23} \cdot U_2 + U_3 + D_3 \cdot U_a}{U_2}} \quad \dots \dots (127c)$$

จากสมการข้างบนนี้เอง ทำให้มองเห็นได้ว่า การบังคับกระแสไฟฟาโนต I_a ด้วยกำลังดันคู่ U_1 และ U_3 นี้สามารถจะเป็นไปได้ อย่างไรก็ตาม โดยที่ในสมการนี้ นอกจากการจำกัดเขตต์โดยสมการ (128a) และ ตัดความเร็วต้นของอิเล็กตรอนออกเสียแล้ว ก็จะมีผลความผิดแผกภายใน เขตต์กระแสไฟฟาโนตน้อย ๆ นั้นได้

ค) การเปรียบเทียบสนามเส้นโค้งลักษณะที่คำนวณได้ กับตัววัดได้

$$\alpha) I_a = f(U_1) \text{ และ } I_a = f(U_3)$$

เพื่อเปรียบเทียบบรรพทางเดินของเส้นโค้งลักษณะที่คำนวณได้ ตามทฤษฎีกับเส้นโค้งที่ทำการวัดได้สำหรับหลอดซึ่งบังคับด้วยการบังคับคู่ (หลอดที่ใช้ทดสอบในที่นี้ใช้หลอด AF7 ซึ่งกริดห้ามถูกใช้เป็นกริดบังคับอันที่สอง) ตามสมการ (127c) จะต้องคำนวณและทำการวัดหาเส้นโค้งลักษณะ $I_a = f(U_1)$ และ $I_a = f(U_3)$ มาเปรียบเทียบกัน

ตัวอย่างที่ ๑๑

จากการวัดหาค่าต่าง ๆ ของหลอด AF7 ได้ค่าดังต่อไปนี้

$$K_s = 1.85 \cdot 10^{-3} A/V^{3/2} = 1.85 \text{ mA}/V^{3/2}$$

$$D_1 = 0.04, \quad D_{23} = 0.08, \quad D_3 = 0.1$$

จากค่าเหล่านี้ เมื่อ $U_a = U_3 = 124$ โวลต์ จะหาค่าของกระแสไฟ
อาโนด I_a ตาม (127c) ได้

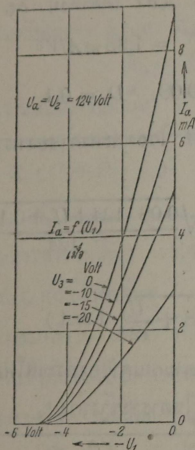
$$I_a = 1.85 (U_1 + 0.04 \cdot 124)^{3/2} \cdot \sqrt{\frac{0.08 \cdot 124 + U_3 + 0.1 \cdot 124}{124}}$$

หรือ

$$I_a = 185 (U_1 + 4.96)^{3/2} \cdot \sqrt{0.18 + \frac{U_3}{124}} \text{ (mA)}$$

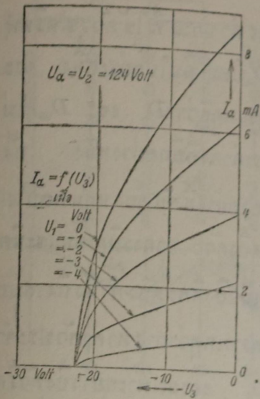
จากความสัมพันธ์ของสมการข้างต้นนี้ สามารถหาค่าของกระแสไฟอาโนด
 $I_a = f(U_1, U_3)$ ได้ดังตามตารางที่อยู่ในตารางข้างล่าง

U_1	กระแสไฟอาโนด I_a เป็น mA เมื่อ $U_3 =$				
	0	-5	-10	-15	-20
0	8.7	7.7	6.5	5	2.9
-1	6.2	5.5	4.9	3.5	2.05
-2	3.98	3.5	3	2.3	1.32
-3	2.16	1.9	1.6	1.25	0.7
-4	0.74	0.65	0.55	0.43	0.245
-4.96	0	0	0	0	0

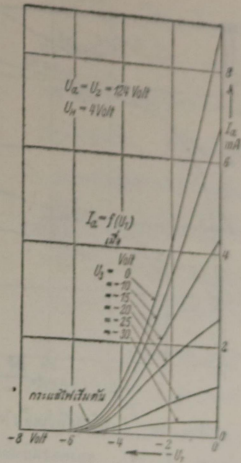


รูป ๑๔๕ แสดงเส้น
ลักษณะที่ทำการคำนวณได้ตาม
สมการ (127c) โดยอาศัย
ตัวประจุของหลอด $AF7$ มา
ใช้กับหลอดบังคับก็ ให้ความ
สัมพันธ์ของ $I_a = f(U_1)$ ใน
เมื่อ U_g มีค่าประจำ

การแต่งรูปทางกราฟของ
ค่าต่าง ๆ ที่คำนวณได้นี้ แต่ง
ให้เห็นได้ใน รูป ๑๔๕ และรูป ๑๕๐
ซึ่งแสดงเส้น $I_a = f(U_1)$ โดย
 U_g มีค่าประจำคงที่และ $I_a = f(U_g)$
โดย U_1 มีค่าประจำคงที่ เปรียบ
เทียบเส้นโค้ง ที่คำนวณได้ กับ เส้น
โค้ง ที่ ทำการวัดได้ด้วยการทดลอง
ในรูป ๑๕๓ และรูป ๑๕๓ จึงเห็นได้
ว่า เมื่อไม่คำนึงถึงอาการอื่นจะ
บังเกิดขึ้นโดยกระแสไฟ เริ่มเดินที่
ทำให้เกิดการผิดแผกชนแล้ว ก
นับว่าผิดที่ได้จากการ คำนวณ และ
การวัดล้มจริง ต้อง กัน พอเพียง แก่
ความต้องการ อาการทางฟิสิกส์
ของหลอด บังคับ คุณ จะต้อง ดำเนิน
ไปตามสมการ (127c) อยู่ภายใน
เขตที่จำกัดที่กำหนดให้พอ กับความ
จริง



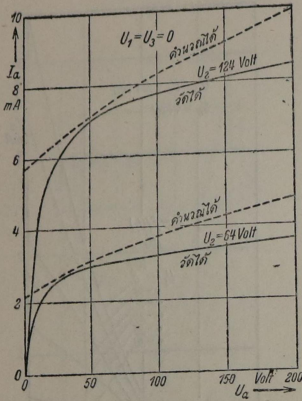
รูป ๑๕๐ แสดงเส้นลักษณะที่ทำการ
คำนวณไดคัมสมการ (127c) โดย
อาศัยตัวประจำของหลอด AF7 มาใช้
กับหลอดบ่งกับค่า ได้ความสัมพันธ์ของ
 $I_a = f(U_g)$ เมื่อ U_c มีค่าประจำ



รูป ๑๕๑ แสดงรูปเส้นลักษณะ
เพื่อสำหรับ เปรียบเทียบ กับเส้น
ลักษณะที่คำนวณได้ ในรูป ๑๕๐ กับ
ค่าที่วัดได้ $I_a = f(U_g)$ เมื่อ
 U_c มีค่าประจำ ของหลอด AF7

$$\beta) I_a = f(U_a)$$

สำหรับตัวอย่างอื่นมีเลขประกอบดังกล่าวแล้ว หาเส้นโค้งลักษณะได้จาก
(127c) ซึ่งแสดงด้วยเส้นจุดๆ ในรูป ๑๕๐ ส่วนเส้นโค้งที่ได้มาจากการ
การวัดเป็นเส้นทึบด้วยเส้นพาดต้องเส้นตามสมการ (128a) หาก
ผิดเพี้ยนอื่นคิดว่าจะมีขึ้นเมื่อ $U_a < U_c \cdot D_2/D_1$ จะโค้งดังปกติด้วย



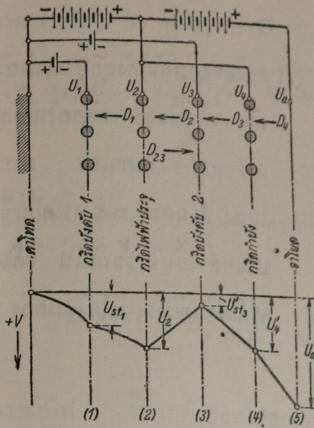
รูป ๑๕๒ เปรียบเทียบเส้นโค้ง
ลักษณะ I_a , U_a ของหลอดบังคับคู
(AF7) ที่คำนวณและที่วัดได้ว่าต่างกัน
อย่างไร

๖. หลอดเฮกโซด

ก) หลักทั่วไป

หลอดเฮกโซดเป็นหลอดบังคับคู ซึ่งได้เพิ่มกริดชนออกอีกหนึ่ง
เข้าไปในระหว่างกริดบังคับอันที่สองกับกริด (3) (รูป ๑๕๔, ๑๕๕) และ
อาโนด กริดชนที่เพิ่มขึ้นมาเป็นกริดกำบัง การที่เพิ่มกริดชนออกอีกหนึ่ง

อากรณิพิณอนเกิดจาก
การคำนวณที่ใช้ตัวขกริฟฟ
 D_3 ใหญ่เกินไปอย่างหนึ่ง และ
โดยเหตุที่ว่า D_3 และ D_{23} ไม่
ประจำคงที่อย่างหนึ่ง ทั้ง
สองอย่างนี้จึงต้องหวนกลับไป
คิดถึงด้วย อากรณิพิณชนิด
นี้จะเป็นดังที่จะต้องคำนึงถึงเสมอ
เพราะเหตุว่าการหาค่าตัวประจำ
 D_3 และจะเพาะอย่างยิ่งตัววัด
กริฟฟ D_{23} นั้นสามารถหาได้ด้วย
ความแน่นอนน้อยมาก

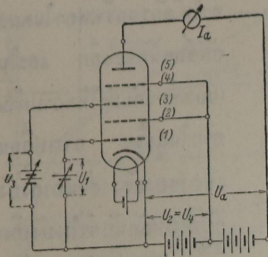


รูป ๑๕๔ แสดงรูปทางเดินของเส้นไป
เตนเซ็ลในหลอดเฮกโซด (Hexode)

ทำให้ตัวกริฟโฟนาโนดผล
ลัพท์ต่น้อยลงอีก แต่ใน
เวลาเดียวกันทำให้ความต้าน
ภายในสูงขึ้น การเปลี่ยน
แปลงของอัตราส่วนกำลังมั้ง
คืบตามหลักนี้ว่าไม่มั้งเกิด
ขึ้น อัตราส่วนไปเตนเซ็ล
ของเฮกโซด (รูป ๑๕๔) น
สอดคล้องตามอัตราส่วนของ
หลอดมั้งคืบ (รูป ๑๕๗)
เมื่อใช้ กำลังไปเตนเซ็ลต่ำ
แดงผลของกริต (4) ใน
หลอดเฮกโซดเป็น

$$U'_4 = U_4 + D_4 \cdot U_a \quad \dots \quad (130)$$

จากความสัมพันธ์ของสมการนี้ ทำให้มีหลักนำเอาความสัมพันธ์ของ
หลอดมั้งคืบไปใช้กับหลอดเฮกโซดได้ สิ่งที่ต้องสังเกตไว้ก็คือว่า เกิด
มีการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนเช่นกันในระหว่างกริต (4) กับแอโนด
(รูป ๑๕๔) เพื่อหลีกเลี่ยงอาการคืบต่ำของเส้นโค้งลักษณะกระแสไฟ



รูป ๑๕๕ แสดงวงจรสำหรับวัด
หาเส้นโค้งลักษณะของหลอดเฮกโซด
(ตัวอย่าง AH1)

อาโนดและเส้นโค้งลักษณะกำลัง
ตัน อันเป็นอาการที่ก่อให้เกิด
การกดยกขึ้นในตนเอง ภายใต้
ในวง ไฟกดยกด้วยฟร็ควเอนซี่
ปานกลางขึ้นในชั้นถัดไป จึง
จำเป็นจึงต้องระวังไว้เสมอว่า

$$U_a > U_g \dots \dots \dots (131)$$

สรุปเส้นโค้งลักษณะ ๑๖๐

๖) กระแสไฟอาโนด I_a

สมการ (127c) ของกระแสไฟอาโนดแห่งหลอดบังคับกับกัน จะ
ตั้งกระแสเมื่อหลอดทรอนสำหรับหลอดเฮกโซดอันเป็นกระแสที่เดินผ่านพ
ระหว่างกริด (3) และ (4) ในที่นี้เราขอกำหนดด้วย I_a' กระแส
ไฟนี้หาได้ตาม (127c) และ (130)

(จาก 127c)

$$I_a = K_g (U_g + D_1 \cdot U_g)^{\frac{3}{2}} \cdot \sqrt{\frac{D_{23} \cdot U_2 + U_3 + D_3 \cdot U_a}{U_2}}$$

จาก (130) $U'_s = U_s + D_s \cdot U_a$

$$I_a = K_3 (U_1 + D_1 \cdot U_2)^{\frac{3}{2}} \cdot \sqrt{\frac{D_{21} \cdot U_2 + U_2 + D_s \cdot U_s}{U_s}} \quad \dots \dots \dots (132)$$

ในที่นี้ถ้า $D_s \cdot U_a$ ซึ่งมีค่าต่างกับ U_s มากมายนั้นออกเสีย ฉะนั้นจะได้

$$I_a = K_3 (U_1 + D_1 \cdot U_2)^{\frac{3}{2}} \cdot \sqrt{\frac{D_{21} \cdot U_2 + U_2 + D_s \cdot U_s}{U_s}} \quad (132a)$$

กระแสไฟ I'_a นี้แยกตัวออกไปสู่กริด (4) และฮาโมด อันเป็นแรงที่ขยับภายในเขตของกฎทั้งคู่ โดยที่ $U_a > U_s$ ในการใช้ความสัมพันธ์ของสมการ (87) ที่ได้จากหลักการแจกกระจายกระแสไฟตามกฎทั้งคู่นี้ ค่าแห่งกระแสไฟฮาโมดของหลอดเฮกโซดเป็น

$$I_a = \frac{I'_a}{1 + K_1 \cdot \sqrt{U_s/U_a}} \quad \dots \dots \dots (133)$$

เมื่อนำค่าของ I'_a จาก (132a) ได้แทนลงจะได้

$$I_a = \frac{K_3 (U_1 + D_1 \cdot U_2)^{\frac{3}{2}} \cdot \sqrt{\frac{D_{21} \cdot U_2 + U_2 + D_s \cdot U_s}{U_s}}}{1 + K_1 \cdot \sqrt{\frac{U_s}{U_a}}} \quad \dots \dots (133a)$$

โดยที่ U_s และ U_a ในที่นี้ทางใช้การ ถือว่าประจำคงที่ (แอมป์ลิจูด

ที่บังเกิดขึ้นภายในวงไฟอาโนดตามกฎเกณฑ์เล็กน้อยมาก จนถึงถือว่า
ประจำคงที่ได้) ฉะนั้นจึงใช้ตัวประจำ K_3 เป็นพิเศษได้ และให้รวมกันเป็น

$$K_4 = \frac{K_3}{1 + K_1 \cdot \sqrt{\frac{U_4}{U_a}}} \quad \dots \quad (134)$$

เมื่อเป็นเช่นนั้น สมการของกระแสไฟอาโนด I_a ก็จะกลายรูปเป็น

$$I_a = K_4 (U_1 + D_1 \cdot U_2)^{\frac{3}{2}} \cdot \sqrt{\frac{D_{21} \cdot U_2 + U_3 + D_3 \cdot U_4}{U_2}} \quad (135)$$

ซึ่งนับว่าง่ายขึ้น

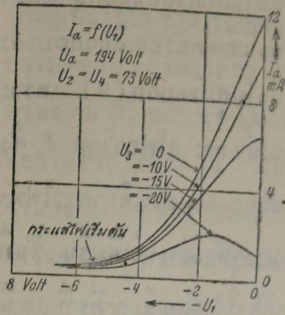
สมการกระแสไฟอาโนด ของหลอดเฮกโซดนี้ แปลงรูปให้ง่ายขึ้น
ตามหลอดบังคับค่า (127c) ตัวประจำ K_4 จะต้องทำการทดลองหาเอา
จาก (135) ซึ่งมองเห็นได้ว่า ความสามารถในการบังคับกระแสไฟ
อาโนดโดยกำลังดันลบ สองกำลัง (U_1 และ U_2) อันเป็นการบังคับค่า
อย่างในหลอดบังคับค่านั้นเป็นไปได้อย่างไร

ก) สนามเส้นโค้งลักษณะ

สนามเส้นโค้งลักษณะของหลอดเฮกโซด (AH1) ซึ่งจะกล่าว
ต่อไปนี้เป็นเส้นโค้งที่วัดหามาได้จากวงไฟในรูป ๑๕๕

$$\propto) \quad I_a = f(U_1) \quad \text{เมื่อ } U_3 \text{ ประจำคงที่}$$

เส้นโค้งลักษณะ ของกระแสไฟฟาโนด I_a อันสัมพันธ์กันอยู่กับกำลังดัน
ของกริดบึงคับอันที่หนึ่ง U_1 และขณะเดียวกันก็ได้แสดงกำลังดันประจำ
ของกริดบึงคับอันที่สอง U_3 สำหรับหลอดเฮกโซด AH1 ได้ในรูป ๑๕๖
ด้วย กำลังดัน U_2, U_4 และ U_a (รูป ๑๕๕) จะต้องรักษาให้



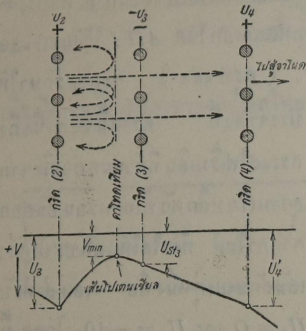
รูป ๑๕๖ แสดงเส้นโค้ง

กระแสไฟฟาโนด I_a ของหลอด
เฮกโซด (AH1) อันสัมพันธ์
กับกำลังดันของกริดบึงคับอันที่หนึ่ง
 U_1 ในเมื่อกำลังดัน ของกริดอัน
ที่สอง U_3 มีค่าต่าง ๆ

ประจำคงที่ กราฟนี้คำนึงถึง
กระแสไฟฟาโนด ที่กำหนดอันเกิดจาก
ความเร็วปลักตัว อิเล็กตรอน อันออก
จากคาโทด ก็จะได้เห็นผลปรากฏว่า
เส้นลักษณะคู่หนึ่ง คือ เส้น สำหรับ
 $U_3 = 0$ และ $U_3 = -10$ โวลต. นั้น
มี อาการ สอด คล้อง กัน ตาม สมการ
(135) ที่แสดงอาการเดินของเส้นโค้ง
ทางทฤษฎีเป็นอย่างดี ส่วนเส้นโค้ง
ลักษณะอีกคู่หนึ่งสำหรับ $U_3 = -15$
และ 20 โวลต. แสดงอาการเมื่อกำลัง
ดันกริด U_1 หลังจากสูญไปนั้น มีอาการ

ผิดเพี้ยนจากอาการของสมการ (135) ไป อาการโค้งกลับของเส้นโค้ง
ลักษณะสำหรับ $U_3 = -20$ โวลต. โดย $U_1 = -1.5$ โวลต. ไม่อาจจะ
อาศัยสมการ (135) อธิบายได้ ต้นเหตุที่ทำให้เกิดการผิดเพี้ยนไปเช่นนี้

เป็นด้วยบังเกิดมีไฟฟ้าประจุที่ว่างเกิดขึ้นจากกำลังดันลบอันแรง U_3 ที่
หน้ากริด (3) โดยอาการถ่วงให้ต่ำช้าอันกระทำต่ออิเล็กตรอนที่หน้า



รูป ๑๕๓ อธิบายให้เห็นอิทธิพลของ
ไฟฟ้าประจุที่ว่างระหว่างกริด (2) และกริด
(3) ว่ากระทำแก่รูปทางเดิน ของเส้นโค้ง
ลักษณะอาโนดอย่างไร

หน้าของกริด (3) นั้นเอง จึงทำ
ให้เกิดมีพื้นอันหนึ่ง อยู่ในระ
หว่างกริด (2) และกริด (3)
ที่มีไปเตนเซียมต่ำที่สุด ตรง
นั้น อิเล็กตรอนเลยจากขั้วและ
บินไปสู่กริดบวก (4) เพราะ
ฉะนั้น กระแสไฟอาโนด I_a จึง
น้อยลงตามส่วน ที่อาการไฟฟ้า
ประจุที่ว่างท่วเพิ่มขึ้น พหุ
เกิดมี ไปเตนเซียมต่ำที่สุดนี้
กำหนดให้เรียกว่า “คาโทด
เทียม (Virtuelle Kathode)”
ทั้งนี้ เนื่องจาก กำลังแรง ของ

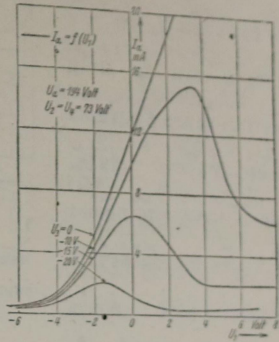
ดังนั้น
$$\mathcal{H}_e = \frac{dv}{dx} = 0$$

รูปทางเดินของเส้นโค้งลักษณะ

กระแสไฟอาโนด อันแท้จริงนั้น จำต้องผิดเพี้ยนไปจากรูป ตามสมการ
(13๖) เสมอ ในเมื่อเกิดมีคาโทดเทียมปรากฏขึ้น ปรากฏการณ์
ของสิ่งนี้ที่กล่าวนี้ Rothe และ Kleen ได้แสดงให้เห็นโดยละเอียดโดย

ในหนังสือ Die Telefunkenröhre 1937, 90 - 114 H. 9 รูปทางเดิน
ของเส้นโค้งลักษณะสำหรับ $U_3 = -20$ โวลต์ ในรูป ๑๕๖ นั้น ย่อมให้
อาการของคาโทดที่เพิ่มสูงขึ้นเป็นจุดที่ปรากฏการณ์อื่น และ
จะเห็นได้ดียิ่งขึ้น จากเส้นโค้ง

ลักษณะ ในรูป ๑๕๘ จากเส้น
โค้งนั้นเห็นได้ว่า อาการผิดเพี้ยน
อย่างเดียวกัน ก็บังเกิดขึ้นโดย
กำลังดัน U_3 อันมีค่า เป็นลบ
น้อยไปด้วยเหมือนกัน และ
จำนวน สูง สุด ของ กระแสไฟ
อาโนด จะอยู่แต่เฉพาะในเขต
บวกของกำลังดันกริด U_1 โดย
การเลือกอัตราส่วนของกระแส
ไฟให้เหมาะสมกันเอง จึงทำ
ให้ตำแหน่ง ของโปเตนเชียลค่า
ที่สุด และตำแหน่ง สูงสุด ของ
กระแสไฟ คาโนด เกิดขึ้น ที่ไป
(ข้อที่ควรสังเกต ณ ที่นาคือว่า



รูป ๑๕๘ แสดงอิทธิพล ของไฟฟ้า

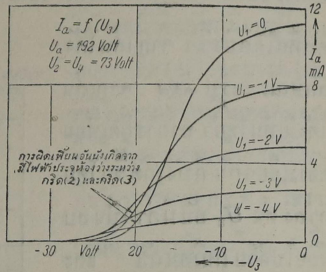
ประจุทั่วทั้งวาล์ว ลำแสงแก่ทางเดิน ของเส้น
ลักษณะ I_a, U_1 ของหลอดเอกโทด AHI
[ตรงส่วนโค้งสูงสุดนั้น แสดงว่าบังเกิดมี
คาโทดที่เพิ่มขึ้น]

เส้นที่ลากผ่าน บรรดาจุดสูงสุดที่สุดในรูป ๑๕๘ นั้น ชวนกับเส้นลักษณะ
สำหรับ $U_3 = 0$ และยังเป็นเส้นลักษณะไฟฟ้าประจุทั่วทั้งวาล์วด้วย)

β) $I_a = f(U_3)$ เมื่อ U_1 ประจำคงที่

ความสัมพันธ์แห่งกระแสไฟฟาโนด I_a ของหลอดเฮกโซด (AH1)

อันขึ้นอยู่กับกำลังดัน ของกริด บั๊มป์ อันที่สอง U_3 สำหรับ กำลังดัน กริด U_1 ต่าง ๆ นี้ แสดงอยู่ ในรูป ๑๕๘ เมื่อไม่ พิจารณา ถึงกระแสไฟเริ่มเดิน แต่ว่ก็จะเห็นได้ว่า เส้นโค้ง เหล่านี้ มีรูปร่างเข้าใกล้เคียง กับทางเดิน ของเส้นโค้งซึ่งได้ จากสมการ (135) ส่วนใน เส้นโค้ง ลักษณะ คู่หนึ่ง คือ

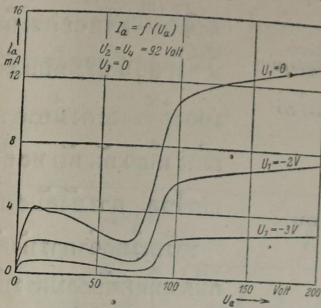


รูป ๑๕๘ แสดงเส้นลักษณะ I_a, U_3 ของ หลอดเฮกโซด AH1 (ตอนล่างของเส้น ลักษณะนี้ปรากฏมีการผิดเพี้ยนขึ้นโดยบังเกิด มีคาโทดเทียม)

เส้นสำหรับ $U_1 = 0$ และ $U_1 = -1$ โวลต์ นั้น ส่วนล่างของเส้นโค้ง ที่กล่าวนี้ทำให้อิทธิพลของไฟฟ้าประจุห้วงว่างดังกล่าวแล้วข้างต้นสัมผัสจริง ในอาการตรงข้ามกับเหล่าเส้นโค้งในรูป ๑๕๘ ซึ่งไฟฟ้าประจุห้วงว่าง นั้นทำให้การทวีความชันของเส้นโค้งลดอ่อนลง ทั้งนี้ย่อมอาศัยอยู่ กับการเคลื่อนตัวของตำแหน่ง ที่มีไปเด่นชัดต่ำ สุดจะเลื่อนไปทางใด ประการหนึ่ง และอีกประการหนึ่งยังแล้วแต่ตำแหน่งของคาโทดเทียม อันเกิดจากกำลังดัน U_3 เป็นผู้แสดงผลสัมพันธ์ร่วมอยู่ด้วย

ว) $I_a = f(U_a)$ เมื่อ U_1 และ U_2 ประจำคงที่

ในรูป ๑๖๐ แสดงความสัมพันธ์แห่งกระแสไฟอาโนด I_a ของหลอดเอกโซด (AHI) อันขึ้นอยู่กับการกำหนดอันอาโนด U_a กำหนด U_1 และ U_2 สำหรับเส้นโค้งเส้นหนึ่ง ๆ ต้องประจำคงที่ สำหรับระยะ $U_a = 10$ โวลต์



รูป ๑๖๐ เส้นโค้งลักษณะ I_a, U_a

ของหลอดเอกโซด AHI

ได้จาก สมการ (135) และ (134) มีรูปคล้ายเข้าไปสู่ความสัมพันธ์ดังกล่าวแต่ต่างกัน.

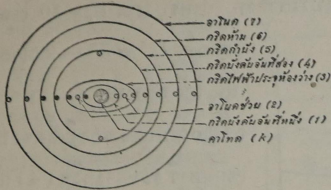
๗. หลอดออกโคโทด

ก) หลักทั่วไป

หลอดออกโคโทดเป็นหลอดบังคับคู่ที่มีอาโนดช่วย (2) เพิ่มขึ้นในระหว่างกริดบังคับอันที่หนึ่ง (1) กับกริดไฟฟ้าประจุห้วงว่าง (3) (ดูรูป ๑๖๑ และ ๑๖๒) อาโนดช่วยนี้ทำหน้าที่ในวาท่อให้เกิดอาการกลดออก

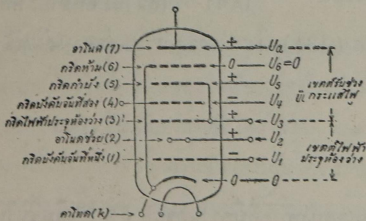
ไปจนถึง $U_a \approx U_1 \approx 92$ โวลต์
เส้นโค้งลักษณะ อันเกิดจาก
การแลกเปลี่ยนของอิเล็กตรอน
เซกันดารี ระหว่างกริด (4) กับ
อาโนดนี้ แสดงให้เห็นทางที่
เส้นโค้งดังกล่าวอันที่จะเกิดขึ้น
สำหรับ $U_a > U_1$ [เปรียบ
เทียบสมการ (131)] จะเห็น
ได้ว่า เส้นโค้งลักษณะที่หา

ชั้นภายในวงไฟฟ้าประสมคลื่นสองขนาดเข้าด้วยกัน นอกจากนั้นหลอด
ออกโทดยังมีกริดห้าม (6) อีกอันหนึ่ง ซึ่งอยู่ในระหว่างกริดก้ำบัง
(5) กับคาโทด (7) เพื่อสำหรับป้องกันการแตกเปลี่ยนอิเล็กตรอน
เซ็กันดารี ความสัมพันธ์ทางหลักแห่งฟิสิกส์นั้นปรากฏว่าหลอดนี้เป็น



รูป ๑๖๑ แสดงให้เห็นรูปตัดของการวาง
อิเล็กโทรดในหลอดออกโทด

คัมกระแสไฟอิมพัลส์ด้วยกริด (1) อย่างหนึ่ง และการบังคัมอาการ
แจกกระจายของกระแสไฟโดยกริด (4) อีกอย่างหนึ่ง



รูป ๑๖๒ แสดงแผนการติดต่อของอิเล็กโทรด
สำหรับหลอดออกโทด

หลอดบังคัมค้อย่างธรรมดา
ตามเอง แต่หลอดชนิด
นี้ มี ส่วน ประ กอบ คัด
แปลงคลื่นและคัมอาการ
อย่าง เดียว กัน กับ หลอด

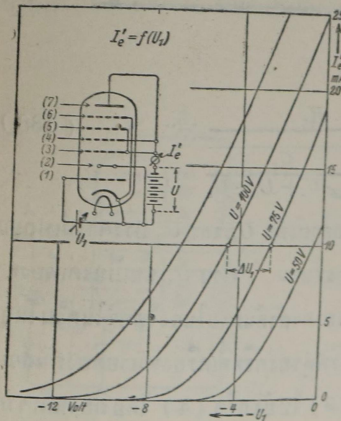
เฮกโซด การบังคัมสอง
ทางหรือเรียกว่าการบังคัม
คนด้าเนนหลักตามการบัง

ส่วนการบังคัมกระ
แสไฟอิมพัลส์ I_c ซึ่ง
เดินออกไปจากคาโทด
นั้นทำนองเดียวกันกับ
ที่ใช้ในหลอดเฮกโซด
ภายใน เขตคัมพัลส์ ของไฟ
ฟ้าประจุห้องว่าง กระ
แสไฟที่เดินผ่านตลอด

พจน์ของกริดไฟฟ้าประจุห้วงว่าง (3) คือ I_e' เป็นกระแสไฟที่ไหลเข้าไปสู่อานอดช่วยและมีค่าน้อยกว่ากระแสฟิอิมชัน I_e' ซึ่งมีทางเดินของเส้นโค้งลักษณะ $I_e' = f(U_1)$ ดังที่แสดงอยู่ในรูป ๑๖๓ อย่างเดียวกันกับในเขตคของไฟฟ้าประจุห้วงว่าง จำนวนอิเล็กตรอนที่ตกจับเอาได้โดยกริดช่วย ณ ที่นี้มีจำนวนน้อยมาก ทั้งนี้เป็นด้วยเนื้อที่ของกันอานอดสองอันนั้นเล็กมาก [เปรียบเทียบรูป ๑๖๓] สำหรับการคำนวณกระแสฟิอานอดคือไปน I_e' ใช้สมการใกล้เคียง

$$I_e' = I_e \quad \dots \quad (136)$$

ได้



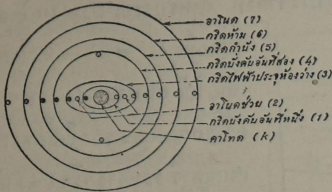
ข) กระแสฟิอานอด I_e'

เมื่อไม่คำนึงถึงอิทธิพล

อันเล็กน้อยแห่งอาการต้านแรง
ผลจากการ บังคับกระแสไฟ
อิมชัน อันกระทำคือ อานอด
ช่วย และจำนวนแอมแปร์ที่กำ
ลังดันอานอดส่งไปให้แก่ไป
เค้นเขี่ยดัดแรงผลของกริดบัง
คับอันที่สอง (4) รูป ๑๖๒ ก็
จะให้กระแสฟิอานอดของ
หลอดออกใกล้เคียงตามแนวสมการ
(135) เป็น

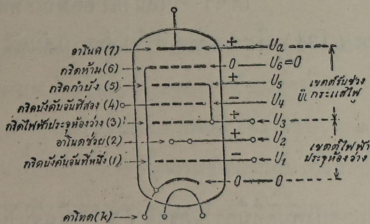
รูป ๑๖๓ แสดงกระแสฟิอานอด I_e' ที่ไหลผ่าน
พจนกริด (3) ไป และสัมพันธ์อันอยู่ด้วย
ถ่วงคั่นของกริดบังกับอันที่หนึ่ง U_1

ชนภายในวงไฟที่ประสมกันต้องขนาดเข้าด้วยกัน นอกจากนั้นหลอด
ออกโทยังมีกริดห้าม (6) อีกอันหนึ่ง ซึ่งอยู่ในระหว่างกริดก้ำมั่ง
(5) กับคาโทด (7) เพื่อป้องกันการแตกเปลี่ยนอิเล็กตรอน
เซ็กนดารี ความดัดพันทางหลักแห่งพิสัยนี้ปรากฏว่าหลอดเป็น



รูป ๑๖๑ แสดงให้เห็นรูปตัดของการวาง
อิเล็กโทรดในหลอดออกโท

คัมกระแสไฟอิมิชชันด้วยกริด (1) อย่างหนึ่ง และการบังคับอาการ
แจกกระจายของกระแสไฟโดยกริด (4) อีกอย่างหนึ่ง



รูป ๑๖๒ แสดงแผนการคิดต่อของอิเล็กโทรด
สำหรับหลอดออกโท

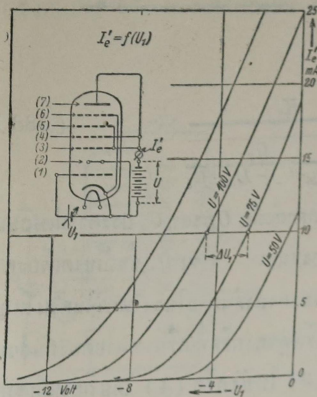
หลอดบังคับคัมอย่างธรรมดา
ตามเอง แต่หลอดชนิด
นี้ ทึ่ม ด่วน ประ กอบ คัด
แปลงดิชและคงมีอาการ
อย่าง เดียว กัน กับ หลอด
เฮกโซด การบังคับคัม
ทางหรือเรียกว่าการบังคับ
คนดำเนินหลักตามการบังคับ

ส่วนการบังคับกระแส
ไฟอิมิชชัน I_s ซึ่ง
เดินออกไปจากคาโทด
นั้นทำนองเดียวกันกับ
ที่ใช้ในหลอดเฮกโซด
ภายใน เขตคัมของไฟ
ฟ้าประจุหรือวาร์ กระ
แสไฟที่เดินผ่านตลอด

พจน์ของกริดไฟฟ้าประจุห้วงว่าง (3) คือ I_o' นั้น เป็นกระแสไฟที่ไหลเข้าไปต่อเอาโนดช่วยและมีค่าน้อยกว่ากระแสไฟอิมิชัน I_o ซึ่งมีทางเดินของเส้นโค้งลักษณะ $I_o' = f(U_1)$ ดังที่แสดงอยู่ในรูป ๑๖๓ อย่างเดียวกันกับในเขตคของไฟฟ้าประจุห้วงว่าง จำนวนอิเล็กตรอนที่ตกจับเอาได้โดยกริดช่วย ณ ที่มีจำนวนน้อยมาก ทั้งนี้เป็นด้วยเนื้อที่ของกันอาโนดสองอันนั้นเล็กมาก [เปรียบเทียบรูป ๑๖๓] สำหรับการคำนวณกระแสไฟอาโนดต่อไปนี้ อาจใช้สมการใกล้เคียง

$$I_o' = I_o \quad \dots \dots \dots (136)$$

ใด



รูป ๑๖๓ แสดงกระแสไฟ I_o' ที่ไหลผ่านพจน์นำกริด (3) ไป และสัมพันธ์ขึ้นอยู่กับการตั้งคของกริดกับคั่นอันที่หนึ่ง U_1

ข) กระแสไฟอาโนด I_o

เมื่อไม่คำนึงถึงอิทธิพลอันเล็กน้อยแห่งอาโนดด้านตรง ผลจากการบังคับกับกระแสไฟอิมิชัน อันกระทำคืออาโนดช่วย และจำนวนแอมแปร์ที่กำลังคั่นอาโนดส่งไปให้แก่โปเตนเชียลด้านตรงผลของกริดบังคับอันที่สอง (4) รูป ๑๖๒ ก็จะให้กระแสไฟอาโนดของหลอดออกก็ไปตามแนวสมการ (135) เป็น

$$I_a = K_4 (U_1 + D_{34} \cdot U_3)^{\frac{3}{2}} \cdot \sqrt{\frac{D_{34} \cdot U_3 + U_4 + D_{54} \cdot U_5}{U_3}} \quad (137)$$

โดยที่กริด (3) กับกริด (5) รูป ๑๖๒ ต่อดึงกันอยู่ภายในหลอดจึงทำให้ U_3 และ U_5 มีกำลังดันอย่างเดียวกัน สมการ (137) จึงแปลงรูป
ง่ายขึ้นอีก คือ

$$I_a = K_4 (U_1 + D_{34} \cdot U_3)^{\frac{3}{2}} \cdot \sqrt{(D_{34} + D_{54}) + U_4/U_3} \quad (137a)$$

ในสมการข้างบนนี้ได้

$$K_4 = \frac{K_3}{1 + K_1 \sqrt{\frac{U_5}{D_{56} \cdot U_5 + D_{a6} \cdot U_a}}} \quad \dots \quad (138)$$

ค่าของ K_4 นี้ประจำกริดที่ ต่อกับกำลังดัน U_5 และ U_a ประจำไม่เปลี่ยนแปลง ในที่นี้ค่าของ U_5 เป็นค่าแน่นอน ส่วน U_a นั้นเป็นแค่เพียงค่าใกล้เคียงตามกฎ ซึ่งแอมพลิจูดของกำลังดันภายในวงไฟอานอนโตไม่ใหญ่เกินไป D_{34} และ D_{54} เป็นตัวหุ้มนิพจน์ของกริดที่เครื่องหมายต้องกันส่วน D_{34} นั้นเป็นตัวหุ้มนิพจน์ของกริด (3) ไปยังกริด (4) โดยถือหลักจากกำลังดันอานอน U_a เป็นแนว จึงกำหนดเขตที่ใช้ได้ของสมการ (137a) และ (138) ได้ดังข้างล่างนี้ คือ

$$D_{a6} \cdot U_a > D_{56} \cdot U_5 \quad \dots \quad (139)$$

หรือ

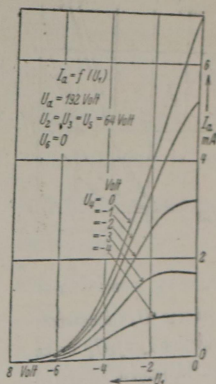
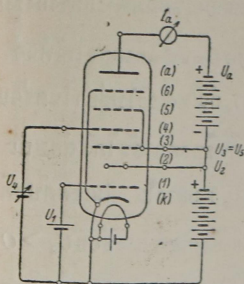
$$U_a > U_s \cdot \frac{D_{a6}}{D_{a6}} \dots \dots \dots (139a)$$

กระแสไฟฟาโนด I_a น้อยมให้กำลังดันลบ U_1 และ U_2 ทำการ
บังคับโดยปราศจากกำลังงานตาม (137a) รูปแสดงวงจร ๑๖๔ คือ
 U_1 ทำการบังคับกระแสไฟฟ้ามุขชั้นภายในเวดคัพไฟฟ้าประจุห้วงว่าง และ
 U_2 ทำการบังคับการแจกกระจายของกระแสไฟ

ค) สนามเส้นโค้งลักษณะ

๙) $I_a = f(U_1)$ เมื่อ U_2 ประจักษ์ที่

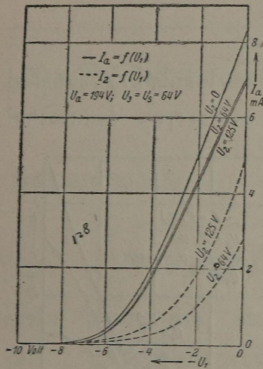
วัดหากระแสไฟฟาโนด I_a ของหลอดออกโทดอันดั้มพันรชนอยกับ
กำลังดันกริด (1) U_1 ด้วยกำลังดันกริด (4) ต่าง ๆ กัน ส่วนกำลังดัน



รูป ๑๖๔ แสดงวงจรสำหรับใช้วัด
หาเส้นลักษณะกระแสไฟฟาโนดของหลอด
ออกโทด

รูป ๑๖๕ แสดงเส้นลักษณะของหลอด
ออกโทด

อนันันรึกษาให้ประจำคงที่ การวัดนี้ใช้วงจรดังปรากฏตามรูป ๑๖๔ จะได้รับของต้นกำเนิดโค่งที่ต่ำกว่าอยู่ในรูป ๑๖๕ จากเส้นโค่งเหล่านี้ปรากฏว่าเส้นโค่งสำหรับ $U_2 = 0$ มีความสัมพันธ์ต่าง ๆ เป็นไปตามกฎของสมการ (137a) อย่างดี ส่วนเส้นอื่น ๆ นั้นตรงใกล้ตำแหน่ง $U_2 = 0$ เริ่มแสดงคุณสมบัติเพี้ยนห่างทางเดินต่างไปจากรูปเส้นโค่งที่ได้จาก (137a)



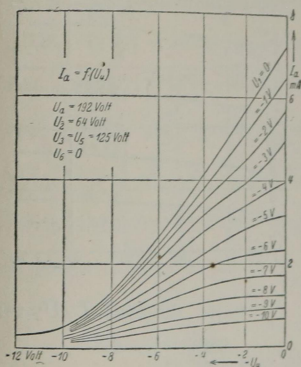
รูป ๑๖๖ แสดงอิทธิพลของกำลังดันช่วย U_2 ที่สำแดงแก่กระแสไฟฟ้านอน $I_a = f(U_1)$ และแก่กระแสไฟฟ้านอนช่วย $I_2 = f(U_1)$

ด้วย สำหรับสมการ (137a) นั้น ใช้ได้

อาการเช่นนี้ เป็น อย่างเดียวกัน กับในหลอดเอกโซดคือมีอาการสละสมอเดทรวนรวมกันอยู่ที่หน้ากริด (4) และทำให้เกิดคาโทดเทียม บังเกิดชนออก (เปรียบเทียบกับปรากฏการณ์อันบังเกิดแก่หลอดเอกโซดเฉพาะอย่างยิ่งรูป ๑๕๘ ด้วย) รูป ๑๖๖ ได้แสดงให้เห็นว่ากระแสไฟ I_2 อันไหลเข้าไปสู่อานอดช่วยนั้นสำแดงอิทธิพลต่อเส้นโค่ง ลักษณะ $I_a = f(U_1)$ อย่างไร ในเขตปกติของระยะกำลังดันอานอดช่วย $U_2 > 0$ จะเห็นได้จากรูป ๑๖๖ ว่า อิทธิพลอันน้อยลงไป ฉะนั้นจึงทำให้การวัดส่วนที่ไม่ต้อง นำเอาเข้ามาพิจารณา

$\beta) I_a = f(U_a)$ เมื่อ U_1 ประจำคงที่

นอกจากที่จําถึงรักษากําลังต้น U_a และ U_1 ดังที่แสดงอยู่ในรูป ๑๖๔ ให้ประจำคงที่แล้ว ยังต้องรักษากําลังต้นอื่นประจำคงที่ด้วย แล้วทำการวัดกระแสไฟอาโนด I_a อันสัมพันธ์กันอยู่กับกําลังต้น U_1 ด้วยกําลังต้นกริด (1) ต่าง ๆ กัน จะได้เส้นโค้งลักษณะดังในรูป ๑๖๗ เส้นโค้งลักษณะเหล่านี้ตามสมการ (137a) แล้วจึงตัดโค้งด้วยเส้น U_1 ซึ่งคล้ายกับเส้นลักษณะ $U_1 = -6$ และ -7 โวลต์ ทางเดินของเส้นโค้งสำหรับ $U_1 = 0, -1$ โวลต์ แสดงให้เห็นความผิดแปลกไปจากทรงประของเส้นโค้งอันจะได้ทางทฤษฎีของสมการ (137a) การผิดเพี้ยนอันนี้มักเกิดจาก

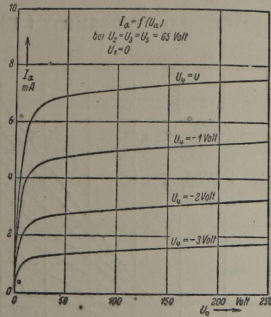


รูป ๑๖๗ เส้นลักษณะ I_a, U_a ของหลอดออกโทด AKI

อาการระงับของอิเล็กตรอนอยู่ในระหว่างกริด (3) และกริด (4) (ดูรูป ๑๖๔) อีกนั่นเอง สำหรับอาการอันนี้ตรง และโดยกําลังต้น U_1 เป็นลบน้อยไปก็จะให้เกิดความใกล้เคียงกันที่หน้ากริด (4) โดยวิธีนี้จึงทำให้อาการต่ำลงผลของการแจกกระจายกระแสไฟและกฎไฟฟ้าประจุห้องว่างเข้าด้วยกันพอดี เพราะเหตุว่ารูปทางเดินของเส้นลักษณะทรงกฎทางช่องนี้

แสดงอาการโค้งของเส้นในทางตรงกันข้าม จึงต่ำลงผลลัพธ์ออกมาตาม
แต่ว่าอาการต่ำลงผลทางฝ่ายใดจะมากหรือน้อยกว่ากัน อย่างไรก็ดี อาการ
ฝ่ายใดมากกว่า ผลที่ปรากฏเป็นผลลัพธ์ก็เป็นของฝ่ายนั้น ฉะนั้นทาง
เดินของเส้นลักษณะ $I_a = f(U_a)$ ของรูป ๑๖๗ สำหรับ $U_1 = 0$ และ
-1 โวลต์นั้นจึงเดินเกือบจะเป็นเส้นตรง สำหรับกำลังดันของกริด (1)
ที่เบ็ดเตล็ดแรงขึ้น ดังอิทธิพลที่ $U_1 = -6$ และ -7 โวลต์เป็นต้น และใน
เมื่อกระแสไฟมีขึ้นน้อยๆ อาการระดมของอิเล็กตรอนที่อยู่หน้ากริด

(4) นั้นรู้สึกว่ามีมากขึ้นกว่าเดิม
ที่ เพราะฉะนั้นทางเดินของเส้นโค้ง
ลักษณะที่ได้มานั้นจึงเป็นรูปใกล้
เคียงกับที่ได้จากทางทฤษฎีของ
สมการ (137a) จากตัวอย่างที่
กล่าวข้างต้นนี้ได้ว่า การระดม
ไฟฟ้าประจุด้วยจำนวนพอเหมาะ
อยู่ภายในเขตการแจกกระจาย
กระแสไฟ ทำให้ตัวรูปเส้นโค้ง
ลักษณะ กระแสไฟอาโนดกลายเป็น
เป็นเส้นตรงได้



รูป ๑๖๗ เส้นลักษณะ I_a, U_a ของ
หลอดออกโทด AK1

สำหรับคุณสมบัติพิเศษของเส้นโค้งลักษณะ $I_a = f(U_a)$ ของ
หลอดออกโทด AK1 นี้จะต้องแสดงอีกเพียงสั้นๆ คือกระแสไฟอาโนด
 I_a จะเดินจากกำลังดัน -10 โวลต์ไปไม่ได้อย่างที่คาดว่าจะ เป็น คือ

ไม่เป็นไปตามเดรกก้างของ U_1 จนไปถึงศูนย์ แต่จะค่อย ๆ ลดน้อยลง
 สัมพันธ์ตาม U_1 อย่างช้า ๆ อาการที่เป็นเช่นนี้เป็นด้วยเหตุที่เส้นของ
 ลวดตาข่ายกริด (4) ถูกตัดออกเสียต้องตามเส้น โดยที่กริด (4)
 นี้เกิดมีอาการเป็นเหมือนกริดแต่ง (Regel gitter) ด้วย คำว่า "กริด
 แต่ง" ที่ใช้ ณ ที่นี้มีความหมายตามภาษาอังกฤษว่า Regulating grid
 ซึ่งอาการของกริดแต่งนี้จักได้กล่าวต่อไปในตอนข้างหน้า

$$\gamma) I_a = f(U_a)$$

เส้นโค้งลักษณะกระแสไฟแตรก้างคันฮาโนดของหลอดออกโทด
 รูป ๑๖๘ มีรูปทางเดินคล้ายกันกับเส้นลักษณะ $I_a U_a$ ของหลอดเพนโทด
 (เปรียบเทียบรูป ๑๔๐a และ ๑๓๘b) อาการส้มจิมของเส้นโค้งในรูป
 ๑๖๘a กับสมการ (137b) นี้ นับว่าใช้ได้ดีเป็นทพอใจจนถึงเขตคเบอง
 ดังของ (139a) คือ $U_a > U_s \frac{D_{ss}}{D_{as}}$ ในเขตระยะที่ต่ำคัญแห่งทางใช้
 การคือ $U_a > 0$ นี้ ทางเดินของเส้นโค้งลาดมาก ซึ่งแสดงว่าความ
 ค้านภายในของหลอดออกโทดสูง จากรูป ๑๖๘ นี้จะคได้ความค้านภายใน
 ของหลอดจากเส้นโค้งสำหรับ $U_1 = -3$ โวลต โดย ก้างคันฮาโนด
 $U_a = 200$ โวลตเป็น

$$R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} = 10^6 \Omega \quad (\text{ถือเอาว่าเป็นจำนวนเต็ม})$$

ความค้านภายในหลอด R_i นี้หาอย่างเดียวกับหลอดชนิดอื่น และ
 ไม่มีค่าของค้วประจําคายค้ว แต่จะวนอยุกับก้างคันฮาโนดหนึ่ง ๆ

๘. ตัวประจำทางใช้การของหลอดที่มีหลายกริด

ก) หลักทั่วไป

เพื่อดำเนินตามอาการต่าง ๆ ภายในหลอดและเพื่อคำนวณผลจากอาการแห่งเส้นโค้งลักษณะผลลัพธ^๕เหล่านี้ จะต้องใช้ตัวประจำซึ่งมีความหมายและความสำคัญจากสมการที่ได้แสดงมาแต่ก่อนแล้วเป็นหลัก นำ ตัวประจำของหลอดที่จะใช้ในที่นี้^๕ ดังที่บางส่วนของแสดงมาแล้ว โดยการเปรียบเส้นโค้งลักษณะซึ่งทำการทดลองวัดมาได้กับเส้นโค้งที่คำนวณมาได้ตามทางทฤษฎีของสูตรต่าง ๆ .

ในที่นี้ขอหยิบยกข้อพิจารณาโดยอาการตรงข้าม คือถือเสียว่าหลอดเป็นส่วนประกอบหรือสังขานของวงจร ฉะนั้นการที่ไม่เป็นเส้นตรงโดยสม่ำเสมอของเส้นโค้งลักษณะนี้ จึงเป็นผู้นำความยากทั้งหลายเหล่านี้ให้เป็นส่วนมาก สำหรับในกระแสไฟสถิตที่มีแอมป์ลิจูดต่ำ ๆ ก็พอช่วยแก้ไขได้โดยอาศัยหลักธรรมดาที่ถือเอาเส้นโค้งลักษณะภายในเขตที่ทำงานอยู่นั้นเป็นประจ^๕เส้นตรงเสีย เพื่อที่จะให้เป็นเครื่องแสดงคุณสมบัติของหลอดว่าเป็นอย่างไร^๕เอง จึงได้ใช้ตัวประจำของหลอดต้องนำมาเป็นเครื่องหมายชี้ให้เห็น ในที่นี้ขอกำหนดตัวประจำของหลอดที่ใช้อยู่ในกรณีว่า “ตัวประจำใช้การ” ซึ่งเป็นตัวที่ทำการคำนวณจากเส้นโค้งลักษณะของหลอด ตามวิธีแห่งการหาตัวประจำของหลอดชนิดที่มีกริดเดียว ตัวประจำใช้การนี้ ตามธรรมดาที่ย่อมมีส่วนเกี่ยวข้องของเป็นฟังก์ชันกับความสัมพันธ์ได้แสดงมาแต่ข้างต้น (ดูตอนที่ว่าด้วยตัวประจำของหลอด)

โดยที่ความเกี่ยวข้องสัมพันธ์เหล่านี้ล้วนแต่เป็นส่วนที่มองเห็นได้
ยากและซับซ้อน และในการใช้สมการต่าง ๆ ก็จำเป็นต้องอาศัยตัวประจำ
ขณะจึงขอจำกัดวงในการหาตัวประจำใช้การของหลอดนี้โดยวิธีหาจาก
เส้นโค้งลักษณะเสีย เพื่อตัดปัญหาที่ยากต่าง ๆ ดังกล่าวแล้วให้หมดไป

จ) ความชัน

ถ้า I_m ภายในสนามเส้นโค้งลักษณะเขียนเป็นออร์บิต และ U_n
เป็นแอปซิดัสแล้ว จะได้ค่าของความชันแห่งส่วนเล็ก ๆ ของเส้นโค้ง
ตามธรรมดาทั่ว ๆ ไปเป็น

$$S = \frac{\Delta I_m}{\Delta U_n} \quad \dots \dots \dots (140)$$

หากว่า S นี้เป็นความชันอันแท้จริงแล้ว ในการหาเส้นโค้งลักษณะโดย
วิธีหาค่าจากต้องสังเกตได้ด้วยว่า บรรดาการกำหนดทั้งหลายนอกจาก
การกำหนด U_n ก็ต้องรักษาให้ประจำคงที่

ส่วนมากจำกัด เขตที่ทำการ หาความชัน ของเส้น โค้ง ลักษณะ
 $I_a = f(U_o)$ อยู่ภายในเขตการกำหนดที่มั่นคง โดยเขตนั้นเป็น
เขตที่เราสนใจว่าเขตอื่น ๆ ทั้งหมดหมายความว่าความถี่การยกเว้นเล็กน้อย
น้อย ๆ นั้นขอคัดออก ไม่ต้องคำนึงถึง

α ความชันของหลอดทึมกริดไฟฟ้าประจุห้วงว่าง

ถ้าหลอดทึมกริดไฟฟ้าประจุห้วงว่างนั้น ค่าของความชันจะเป็น

$$S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_2} \quad \text{เมื่อ } U_1 \text{ และ } U_a \text{ ประจำ (140a)}$$

(รูป ๓๒๔)

β) ความชันของหลอดกริดกำลังและหลอดเพนโทด

สำหรับหลอดกริดกำลังและหลอดเพนโทด (รูป ๓๓๓a หน้า ๒๕๓)

$$S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_1} \quad \text{เมื่อ } U_2 \text{ และ } U_a \text{ ประจำ (140b)}$$

ส่วนในหลอดบ่งคับนี้ หลอดเฮกโซดและหลอดออกโทด ย่อมมีความ
 ชันต่างกันตามแต่ว่าจะเป็นสำหรับกริดบ่งคับอันใดในกริดบ่งคับคู่นี้

γ) ความชันของหลอดเฮกโซด

สำหรับหลอดเฮกโซด (รูป ๓๕๖, ๓๕๗)

$$S_1 = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_1} \quad \text{เมื่อ } U_2, U_3, U_4 \text{ และ } U_a \text{ ประจำ}$$

.. .. (140c)

และ

$$S_3 = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_3} \quad \text{เมื่อ } U_2, U_1, U_4 \text{ และ } U_a \text{ ประจำ}$$

.. .. (140d)

ความชันของหลอดออกโทด

สำหรับหลอดออกโทด (รูป ๑๖๕ และ ๑๖๗)

$$S_1 = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_1} \quad \text{เมื่อ } U_2, U_3, U_4, U_5 \text{ และ } U_a \text{ ประจำ } \dots (140e)$$

และ

$$S_4 = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_4} \quad \text{เมื่อ } U_2, U_3, U_1, U_5 \text{ และ } U_a \text{ ประจำ } \dots (140f)$$

ค) ความชันผสมของหลอดบั๊กคัล

๙) วิเคราะห์ความหมาย

เมื่อใช้หลอดบั๊กคัลที่ความชันอื่นใดตามหลอดผสม และความ
 ชันที่ได้มานี้จะไม่ประจำต่อไป แต่จะเปลี่ยนตามจังหวะของกำลังดัน
 ไฟล์ดับ ดังที่จะเห็นได้จากตัวอย่างเส้นโค้งลักษณะรูป ๑๕๖ ความชัน
 S_1 [ตาม 130c] จะเปลี่ยนแปลงค่าตาม U_3 อันเป็นกำลังดันของกริด
 บั๊กคัลอันที่สอง สำหรับอาการผสมนี้หาได้สนใจอยู่ที่ความชันของ
 หลอดโดยแท้ไม่ แต่สิ่งที่เราเกี่ยวข้องอยู่นั้นคือการเปลี่ยนแปลงของ
 ความชันต่างหาก ฉะนั้นสำหรับหลอดเฮกโซไดจึงเกี่ยวข้องอยู่ที่

$$\frac{\Delta S_1}{\Delta U_3} \quad \dots \dots \dots (141)$$

และสำหรับหลอดออกโทด

$$\frac{\Delta S_1}{\Delta U_1} \quad \dots \dots \dots (141a)$$

โดยที่แอมพลิจูดของฟรีควอนซ์ปานกลาง $\mathfrak{z}_x$ อันบังคับเกิดขึ้นภายในวงไฟ
อาโนด ซึ่งจักได้กล่าวต่อไปข้างหน้า (ดู Kammerloher, Theorie
der Mischhexode Z. Hochfrequenztechnik 43 (1934) 161.
มีความสัมพันธ์ของสมการเป็น

$$\mathfrak{z}_x = \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta S_1}{\Delta U_3} \cdot u_3 \right) u_1 \cdots \cdots (142)$$

และต่อไปตามลำดับ

$$\mathfrak{z}_x = \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta S_4}{\Delta U_1} \cdot u_1 \right) u_4 \cdots \cdots (142a)$$

สมการนี้ใช้ได้เมื่อ u_1 และ u_4 เป็นแอมพลิจูดของกำลังคืนรับ u_3 และ
 u_1 เป็นแอมพลิจูดของกำลังโมดเดท สำหรับประโยชน์ทางใช้การนี้
ทางที่ดีควรเอาจำพวกที่อยู่ภายในวงเดิมเข้ามาประสมรวมกันเสีย แล้ว
กำหนดให้ชื่อเสียใหม่ว่าเป็น “ความชันผสม” S_c (Mixed slope)
ค่าอนันต์เป็นค่าอนันต์สำคัญโดยแท้ คือเป็นอัตราเปลี่ยนของความชัน
(Variation of slope) ดู Telefunkenröhre 1935, 92. H. 3 จาก
(142) และ (142a) จะได้

β) ความชันผสมของหลอดเฮกโซด

$$S_c = \frac{\mathfrak{z}_x}{u_1} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta S_1}{\Delta U_3} \cdot u_3 \quad (143)$$

γ) ความชันผสมของหลอดออกโทด

$$S_c = \frac{\mathfrak{z}_x}{u_4} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta S_4}{\Delta U_1} \cdot u_1 \quad (143a)$$

n_3 และ n_1 ในที่นี้เป็นแอมพลิจูดของกำลังดันที่โมดเลต ความชันระดัมนักทำนองเดียวกันกับความชันอื่นหนึ่ง ๆ อันอยู่ที่จุดทำงานของหลอด และนอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับแอมพลิจูดของออสซิลเลเตอร์อีกด้วย ในสมการรายการของหลอดแบบใหม่ ตามปกติมักบอกความชันของ การโมดเลตสำหรับหลอด เสกไซดและ สำหรับหลอดออกโทดอัน สัมพันธ์ขึ้นอยู่กับกำลังดันออสซิลเลเตอร์

ง) ความต้านภายใน R_i

วิเคราะห์ความหมายแห่งความต้านภายในหลอด มีความหมายอย่างเดียวกันสำหรับหลอดทุก ๆ ชนิด

$$R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a}$$

สำหรับทุก ๆ กำลังดันเว้นแต่ U_a
ต้องประจำ (144)

R_i หาได้จากเส้นลักษณะ $I_a = f(U_a)$ และตามกฎธรรมชาติค่าของความต้านภายในหลอดนั้นจะมากขึ้นในเมื่อรูปทางเดินเส้นโค้งยิ่งลาดลง

จ) ตัวจรกริฟฟ

ในหลอดที่มีกริดเดียว เข้าใจความหมายของตัวจรกริฟฟว่าเป็นเศษส่วน $\Delta U_g / \Delta U_a$ โดย I_a ประจำ ค่าอันนี้สัมพันธ์ตามวิเคราะห์ความหมายของตัวจรกริฟฟทางไฟฟ้าสแตติกส์อย่างใกล้ชิด ในเมื่อไม่คำนึงถึงการผิดเพี้ยนเล็กน้อย ค่าของตัวจรกริฟฟประจำคงที่ ส่วนในหลอดที่มีกริดหลายอันนั้น ตรงกันข้ามกับเศษส่วน $\Delta U_g / \Delta U_a$ โดย I_a ประจำ และการที่ I_a ประจำนั้นไม่ประโยชน์

อันใด ทั้งยังเป็นด้วยอาการของการแจกกระจายกระแสไฟทั้งในระหว่าง
 เศษส่วนกับตัววงจรไฟฟ้าทางไฟฟ้าแต่ตติยก็ม $D_a = D_1 \cdot D_2 \cdot D_3 \dots$
 ซึ่งอันนี้เป็นแต่ส่วนสัมพันธ์ที่ยังยากขึ้นอีก ฉะนั้นการหาค่าของเศษส่วนที่
 กล่าวข้างต้นนี้สำหรับหลอดที่มีกริดหลายอัน ส่วนมากและสำหรับหลอดที่
 มีกริดไฟฟ้าประจุห้วงว่างในสมัยปัจจุบันนี้ จึงมีความสำคัญน้อยเต็มที่
 ทั้งการที่จะใช้วิธีหาค่าใกล้เคียงสำหรับทุกใช้การก็ได้ยาก เพราะฉะนั้น
 สำหรับหลอดที่มีกริดหลายอัน ตัวประจำตัววงจรไฟฟ้าจึงไม่มีความ
 สำคัญอย่างใดเหมือนกับในหลอดที่มีกริดเดียว แม้ว่าจะได้แจ้งค่าของ
 ตัววงจรไฟฟ้าไว้สำหรับหลอดที่มีหลายกริดก็ตาม แต่ก็คงให้ค่านี้โดย
 อาศัยสมการภายในหลอด (77) เป็นเครื่องช่วยทางต้น สมการนั้นคือ

$$D = \frac{1}{S \cdot R_i} \quad \dots \dots (145)$$

ฉ) ตัวเกนที่ทวีกำลัง (Amplification factor)

ตามทฤษฎีแห่งการทวีกำลังที่จะได้กล่าวในตอนต่อไปข้างหน้า
 กำหนดเอาตามเกณฑ์ที่ถือว่าความต้านภายนอกที่สูงไม่มามีผล
 สามารถทำการทวีกำลังได้เป็นตัวเกนที่ทวีกำลัง v_o ซึ่งอาจเขียน
 ความสัมพันธ์เป็นสมการได้

$$v_o = \frac{1}{D} \quad \dots \dots (146)$$

ในหลอดที่มีกริดเดียวเป็นอันว่าสมการนี้ใช้ได้ และแทนที่จะใช้
ตัวตัวขกริฟฟ์ ยังอาจใช้สมการภายในหลอด (77) หรือ (145)
อันมีความสำคัญเป็นไปตามแนวของตัวตัวขกริฟฟ์ มาประกอบแล้ว
เกณฑ์ทั่วๆไปได้คือ

$$v_0 = \frac{1}{S \cdot R_i} \quad \dots \quad (146a)$$

ความเกี่ยวข้องของสมการข้างต้นนี้ได้นำเอาไปใช้สำหรับหลอดที่มีหลาย
กริดด้วย และกำหนดเรียกว่าตัวเกณฑ์ทั่วๆไปเหมือนกัน ซึ่งใน
ปัจจุบันนี้ก็ยังปรากฏอยู่ในรายการของหลอดสำหรับหลอดที่มีหลายกริด
(หลอดเพนโทด หลอดเฮกโซด และออกโทด) ด้วย ตัวเกณฑ์ทั่ว
ๆไป v_0 อันมีค่าเท่ากับค่าเรซีพโปรคอด (เศษส่วนตรงข้าม) ของ
ตัวตัวขกริฟฟ์โดยแท้จริงนั้น ไม่มีความสำคัญแต่อย่างใด สำหรับที่
ที่สุดก็คือเพื่อเป็นแต่เพียงค่าสำหรับเปรียบเทียบในระหว่างหลอดที่ใกล้
เคียงกันเท่านั้น โดยที่ S และ R_i ต่างก็ขึ้นอยู่กับระยะห่าง
ของหลอดชนิดนั้น ซึ่งควรจะขึ้นอย่างยิ่งที่ตำแหน่งของรายการ
 S, R_i, D และ v_0 กำหนดให้สำหรับหลอดนั้นยังเกิดได้ภายในวงกว้าง
ของสนามเดินโค้งลักษณะ คือมิได้จำกัดตายตัวว่าจะต้องได้ค่าอัน
เฉพาะแต่ตรงจุดใดจุดหนึ่งแห่งเดียวเท่านั้น

๕. หลอดทมกริดแต่ง (Regulating Grid)

ก) หลักทั่วไป

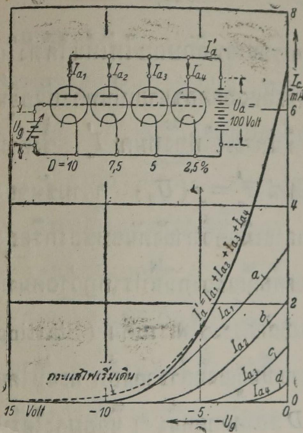
ในเครื่องท่งกำลังไฟฟ้าซึ่งให้แรงขับ การเพิ่มกำลังท่งขับเป็น
 ปฏิภาคกับความขับ การแต่งอากาศท่งกำลังให้มากและน้อยนั้นสามารถ
 ทำได้โดยเปลี่ยนแปลงความขับของหลอด ที่เขตคั่นโค้งของเส้นโค้ง
 ลักษณะของหลอดนั้น อาจทำงานให้ไปถึงได้จากการเลื่อนจุดทำงานของ
 หลอด โดยอาศัยกำลังคั่นกริด เท่าที่นิยมปฏิบัติกันอยู่ใช้หลอดชนิด
 ที่มีกำลังโค้งของเส้นลักษณะมาก ๆ หลอดชนิดที่มีกำลังโค้งของเส้น
 ลักษณะชันมากนั้นได้คิดสร้างขึ้นเพื่อสำหรับความมุ่งหมายในการแต่งกำลัง
 โดยฉะเพาะ หลอดชนิดนี้มีกริดบังคับอย่างธรรมดาหนึ่งอัน แต่ว่ามี
 จังหวะระยะห่างของเส้นกริดเปลี่ยนแปลงไปตามระยะสูงต่าง ๆ กัน กริด
 แบบบัญญัติให้เรียกว่า “กริดแต่ง” (Regulating Grid) ดังแสดง
 อยู่ในรูป ๑๖๘ ตัวรูปกริดฟของกริดตามตอนต่าง ๆ มีขนาดต่าง ๆ กัน
 ตัวรูปกริดฟตามส่วนยาวของกริดที่ต่าง ๆ นั้นเปลี่ยนแปลงค่าโดยตลอด
 เมื่อเขากำลังคั่นต่าง ๆ ที่ใช้กับหลอดนั้นคือเข้าไปประจำคงที่ แต่ส่วนกำลัง



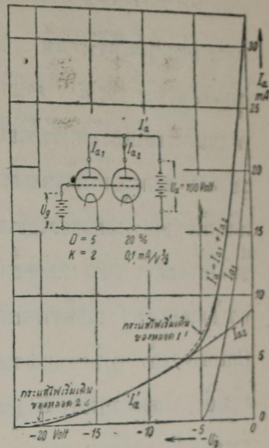
รูป ๑๖๘ แสดงให้เห็นรูปภายใน
 ของกริดแต่งในหลอดชนิดที่เฝ้าคาโทด
 โดยวิธีซ้อน

คั่นของกริดนั้นให้เป็นกำลังคั่นลบ
 แล้วแต่งกำลังคั่นกริดนั้นจากศูนย์ให้เป็น
 ค่าลบท่งขับตามลำดับ ก็จะทำได้
 ขดลวดของกริดถูกตัดออกจากวงจร
 มากขึ้น ๆ ตามลำดับเช่นเดียวกัน

และโดยอาการเช่นนี้ เนื้อที่ผิวดำแดงของคาโทดจะถูกทำให้มีน้อยลง ๆ ตามลำดับด้วย อันเป็นอาการที่ทำให้ความชันของหลอดตาม (71) และ (67) ต้องลดน้อยลงตามด้วย ลักษณะอันใกล้เคียงในชั้นแรกนั้น อาจคิดเขาว่าหลอดชนิดที่มิกริดเต่งเป็นประจุหลอดหลายหลอดอันมีค่าของตัวทวีกริฟฟต่าง ๆ กัน และความชันต่าง ๆ กันค่อนข้างกันเป็นพวง ดังตัวอย่างที่จะเทียบกันกล่าวในท่อนข้อ หลอดที่หลอดมีค่าของตัวทวีกริฟฟ $D=10, 7, 5, 5$ และ 2,5% และค่าแห่งตัวประจำของ



รูป ๑๒๐



รูป ๑๒๑

รูป ๑๒๐ และ ๑๒๑ แสดงอาการที่ต่อหลอดร่วมกันเป็นพวง สามารถแต่งให้เส้นลักษณะเปลี่ยนเป็นไปอย่างไร

หลอดทั้งหมดคนเท่ากันทุก ๆ หลอด คือ $K = 0,1 \text{ mA/V}^{\frac{3}{2}}$ แล้วเขา
หลอดเหล่านี้ต่อขนานเป็นพวงกันเข้าดังในรูป ๑๗๐ ฉะนั้นตาม

(69) $I_a = K (U_g + D \cdot U_a)^{\frac{3}{2}}$ สำหรับกำลังดันของฮาไลด์
 $U_a = 100$ โวลต์ จะได้กระแสไฟฮาไลด์ของหลอดเหล่านี้เป็น

$$\left. \begin{aligned} I_{a1} &= 0,1 (U_g + 0,1 \cdot 100)^{\frac{3}{2}} & \text{mA} \\ I_{a2} &= 0,1 (U_g + 0,075 \cdot 100)^{\frac{3}{2}} & \text{mA} \\ I_{a3} &= 0,1 (U_g + 0,05 \cdot 100)^{\frac{3}{2}} & \text{mA} \\ I_{a4} &= 0,1 (U_g + 0,025 \cdot 100)^{\frac{3}{2}} & \text{mA} \end{aligned} \right\} \quad (147)$$

จากค่าต่าง ๆ ที่ได้ข้างต้นนี้ อาจเขียนเส้นลักษณะให้เห็นได้ดังใน
รูป ๑๗๐ a, b, c และ d ตามที่หลอดแต่ละหลอดต่อขนานเป็นพวงกันอยู่
จะรวมกระแสไฟฮาไลด์เข้าด้วยกันเป็นกระแสไฟทั้งหมด I'_a ซึ่งตาม
รูป ๑๗๐ แสดงรูปทางเดินของกระแสไฟ $I'_a = f(U_g)$ ความชันของ
เส้นโค้งลักษณะจะลดน้อยลงอย่างมากในเมื่อตัวกำลังดันลบของกริดสูง
ขึ้น การลดความชันของหลอดแต่ละหลอดต่อเป็นพวงกันนี้ปรากฏว่าลดมาก
กว่าในหลอดเดี่ยว เมื่อพิจารณาตามหลักกระแสไฟเริ่มเดิน (Starting
Current) แล้ว การที่ความชันจะกลายเป็นศูนย์นั้นถ้าข้างอีก ฉะนั้นโดย
การเลือกค่าของตัวประจำ K และ D ของหลอดหนึ่ง ๆ นี้อยู่จะได้รูป
ร่างของเส้นโค้งลักษณะผลลัพธ์ต่าง ๆ ตามความประสงค์ ดังตัวอย่าง
ที่จะเห็นได้ในวงจรของหลอดสองหลอดที่มีค่าของ $K_1 = 2 \text{ mA/V}^{\frac{3}{2}}$
และ $D_1 = 5\%$ กับอีกหลอดหนึ่ง $K = 0,1 \text{ mA/V}^{\frac{3}{2}}$ และ

$D_2 = 20\%$ ต่อเป็นพวงกัน

จะได้รูปเส้นโค้งลักษณะผลัดขี้

$I'_a = f(U_g)$ ดังแสดงอยู่ตามรูป ๑๗๓

จากเส้นโค้งนี้ทำให้มองเห็น

ได้ว่า เมื่อเอาหลอดทึมตัวขั้วกริฟฟเล็กและความชันสูงต่อเป็นพวงรวมเข้ากับหลอดทึมตัวขั้วกริฟฟใหญ่และความชันต่ำนั้น สามารถแต่งให้

ความชันมีผลต่อพิสัยเขตสูง

ชันไปกว่าที่พวงจะได้จากหลอด

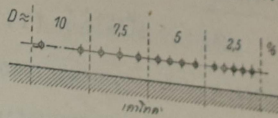
เดี่ยว ดังในตัวอย่างนี้สำหรับ

$U_g = -5$ โวลต์ ในเส้นโค้ง

ลักษณะ $I'_a = f(U_g)$ เป็น

ตำแหน่งที่เส้นโค้งออกตัวนั้น

เขาก็ก



รูป ๑๗๓ a แสดงการคิดต่อกริดแต่งของหลอดหลายหลอดอื่นทำให้มีเส้นลักษณะดังปรากฏในรูป ๑๗๓

เมื่อเอาหลอดต้อหลอดหนึ่งต่อเป็นพวงเพิ่ม

เข้าอีก ก็จะทำให้ความมอดของเส้นโค้งนั้นลดน้อยลงได้อีก

จากความรู้ที่ได้รับจากตัวอย่างที่กล่าวมาแล้วนี้ จึงมีแนวต่อไป

ถึงการสร้างหลอดชนิดที่เรียกว่า “หลอดกริดแต่ง” อันมีเส้นโค้ง

ลักษณะของหลอด $I'_a = f(U_g)$ ดังในรูป ๑๗๐ โดยการจัดวางรูป

ของกริดดังแสดงอยู่ในรูป ๑๗๒ a ส่วนเส้นโค้งลักษณะ $I'_a = f(U_g)$

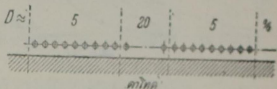
ดังแสดงอยู่ในรูป ๑๗๓ นั้น จะได้

โดยการจัดวางรูปของกริดดัง

แสดงอยู่ในรูป ๑๗๒ b เพื่อประ

สงค์จะหลอดแสงอาภากรกระจาย

อันไม่พึ่งประตังคั่น ทางทด

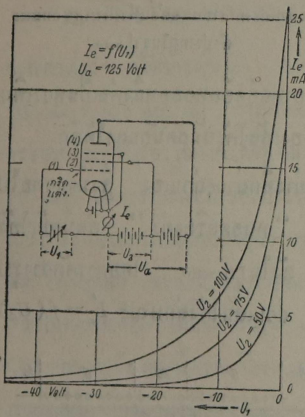


รูป ๑๗๒ b แสดงการคิดต่อกริดแต่งของหลอดหลายหลอดอื่นทำให้มีเส้นลักษณะดังปรากฏในรูป ๑๗๒

และเหมาะสมได้วางให้ระยะห่างของเส้นลวดตอนในห่างกว่าตอนนอกดังแสดงอยู่ในรูป ๑๗๒ b และ ๑๗๔

ข) หลอดกริดกำลังฟรีแควนซ์สูง, เพนโทดและเฮกโซดที่มีกริดแต่ง

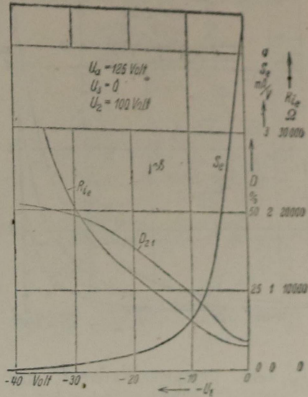
ในหลอดจำพวกนี้ใช้กริด (1) ภายในเซตไฟฟ้าประจุห้วงว่างเป็นกริดแต่ง การแบ่งความชันของหลอด ณ ที่นี้กระทำสำเร็จได้โดยการเลื่อนจุดทำงานไปอยู่ในเส้นลักษณะของกระแสไอมีมิชันอันเปลี่ยนรูปขึ้น



รูป ๑๗๓ แสดงกระแสมีมิชันของหลอดเพนโทดแต่ง (AF 3) อันสัมพันธ์อยู่กับกำลังต้นกริด U_1

ใหม่ให้เหมาะสมกัน สำหรับหลอดเพนโทดที่มีกริดแต่ง (AF 3) นี้ รูปของเส้นโค้งลักษณะ $I_c = f(U_1)$ ในกำลังต้นกริดกำลังต่าง ๆ แสดงให้เห็นได้ตามรูป ๑๗๓ ส่วนรูปทางเดินแห่งความชันของเส้นโค้งลักษณะ I_c, U_1 สำหรับ $U_2 = 100$ โวลต์นั้นได้แสดงไว้ในรูป ๑๗๔ ตามธรรมชาติความต้านภายในหลอดและตัววงจรไฟฟ้าที่เปลี่ยน

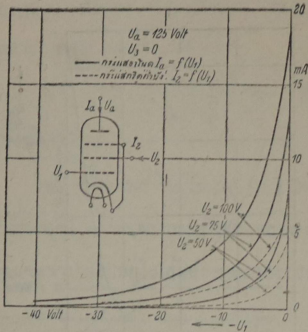
ค่าตามไปกับความชัน S_c ด้วย ดังที่ปรากฏอยู่ตามรูป ๑๓๔ แล้ว ndermining เป็นที่รู้ได้อย่างแน่ชัดว่าความชันของหลอดนั้น สามารถแต่งได้โดยอาศัยกำลังดันกริด เติ้นโค้งตัวรขกรฟัฟ รับรองการสมมติกำหนดในขั้นตอนย่แล้วว่า สำหรับกำลังดันกริดที่เป็นลบมาก ๆ ๆ กริดของหลอดที่มีตัวรขกรฟัฟเล็กต่างก็ถูกตัดทาง ขาด ออกจากตัวรข



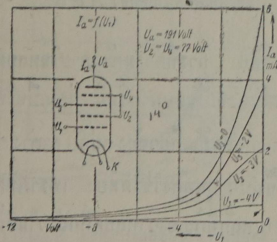
รูป ๑๓๔ แสดงเส้นโค้งความชันอิมิตชัน S_c ความต้านอิมิตชัน R_{ic} และตัวรขกรฟัฟ D_{21} ของหลอดคนโทดแต่ง AF 3

กรฟัฟใหญ่ทั้งในคอนคันและคอนสัดท้าย การที่ความต้านภายในหลอด R_{ic} ทั่วมากขึ้น โดยการที่ก่าลงดันกริดเป็นลบมากขึ้น ย่อมเป็นไปตามความสัมพันธ์ของ สมการภายในหลอดอันเกี่ยวข้อง อยู่กับ ค่าต่าง ๆ ของ S_c , D_{21} และ R_{ic} ซึ่งในที่นี้เห็นว่าถูกต้องใช้ได้ดัง เพราะเหตุว่าขนาดต่าง ๆ ที่กล่าวนี้ก่อน โดยความหลักที่ถือเอาว่าหลอดที่กล่าวในที่นี้เป็นประจุหลอดทมิกริดอนเดียว

รูปทางเดินของเส้นโค้งกระแสไฟฟาโนด $I_a = f(U_g)$ นั้น คล้ายคลึงกันกับรูปเส้นโค้งกระแสไฟฟาโนด และยังใช้ได้สำหรับหลอดกริด



รูป ๑๓๕ แสดงกระแสไฟฟ้านอด I_a และกระแสไฟฟังกัดบัง I_g ของหลอดเพนโทดแบบ $4F3$ อันสัมพันธ์กับก้างัดกันกริด U_1



รูป ๑๓๖ แสดงกระแสไฟฟ้านอด I_a ของหลอดเฮกโซดแบบ (RENS 1234) อันสัมพันธ์กับก้างัดกันกริด U_1

ก้างัด, หลอดเพนโทดหลอดเฮกโซดที่มีกริดแต่งด้วย สำหรับหลอดเพนโทดที่มีกริดแต่ง ($4F3$) และหลอดเฮกโซดที่มีกริดแต่ง RENS 1234 นั้น รูปเส้นโค้งลักษณะ $I_a = f(U_1)$ ได้แสดงเป็นตัวอย่างอยู่ในรูป ๑๓๕ และ ๑๓๖ แล้ว

ค) การแต่งความชันของหลอดออกโทด

ในหลอดออกโทดนั้น

สามารถจะแต่งความชันของหลอดได้โดยการเปลี่ยนแปลงค่าของก้างัดกันไฟของ กริดบัง กับอันที่ต่องคือ กริดหมายเลข 4 (เปรียบเทียบดูรูป ๑๓๕) การแต่ง ความชัน ของหลอดนี้ทำได้ต่างกันกับจำพวกที่กล่าวมาแล้วคือ มิได้ทำการแต่งในเขตไฟฟ้าประจุหัวว่าง แต่

ทำการ แต่ง ใน ตอนที่มีการ
แจกจ่ายกระแสไฟ

กริด 4 ที่ใช้สำหรับ
แต่ง ความร้อน ของหลอดนี้
เป็น กริด อย่าง ขรรมตา ที่มี

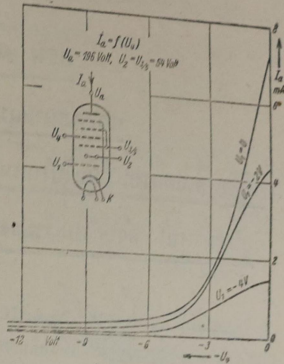
ระยะ ตั้ง (Ganghöhe)
ประจําตัวเอง แต่พอจะให้

สามารถทำการแต่ง ความร้อน
ได้จึงได้ตัด เอา ส่วน ของ วง

หลอดกริดวงที่ต่อกับ สายส่ง
วง ซึ่งจะได้รูปของเส้นโค้ง

ลักษณะเป็น ดังใน รูป ๑๗๗
ตรงใกล้จุดที่ $U_1 = 0$ นั้น

เส้นลักษณะ $I_a = f(U_1)$ จะชันมาก ตอนหลังจากช่วงใหญ่ของกริด
ถูกตัดขาดออกจากวงไฟ (ประมาณ -5 โวลต์) นั้น ในส่วนของเส้น
โค้งจะมีอาการลาดมาก การที่เส้นโค้งตอนนั้นมีความชันน้อยนั้น เนื่อง
มาจากช่องของกริดที่ต่ำลงเล็กน้อย ซึ่งหลังจาก -5 โวลต์ไปแล้ว
โดยอาการทื่อความแน่นของอิเล็กตรอนอย่างแรงชนข้างหน้าของกริด จึง
ทำให้เกิดมีคาโทดเทียมขึ้นที่หน้ากริด (4) อีก ฉะนั้นอาการต่ำลงผล
ของไฟฟ้าประจุห้วงว่าง จึงมีแรงจนทำให้เส้นโค้งตอนไม่เป็นไปตามรูป
อย่างที่กฎเบโตว์กำหนดไว้ แต่เป็นไปตามกฎของไฟฟ้าประจุห้วงว่าง
มากกว่าที่จะเป็นไปตามกฎเบโตว์ คือ เส้นโค้งลาดต่ำลงสู่เบื้องล่าง

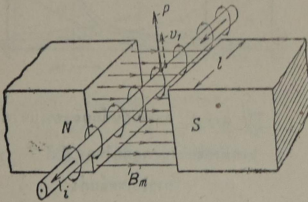


รูป ๑๗๗ แสดงเส้นลักษณะกระแสไฟ
อาโนดของหลอดออกโทด AKI
ภายในเซตต์แต่ง

ตอน ๘

หลอดสนามแม่เหล็ก

1. วิถีของอิเล็กตรอนที่บินไปในสนามแม่เหล็กอันมีกำลังสม่ำเสมอทั่วหน้า ด้วยความเร็วประจำ (สนามไฟฟ้าเป็นศูนย์)



รูป ๑๓๘ แสดงอาการเคลื่อนตัวของอิเล็กตรอนในตัวภายในสนามแม่เหล็กของตัวนำอันมีกระแสไฟฟ้ากำลังไหลผ่าน

ก) อาการ

ตามทฤษฎีของมิโฮซาวาว่า
กล่าวว่าตัวนำที่กระแสไฟฟ้า
ไหลผ่านซึ่งวางอยู่ในสนาม
แม่เหล็กดังในรูป ๑๓๘ นั้น
จะถูกกำลังแม่เหล็กใน
สนามนั้นผลักให้เคลื่อนที่

ไปด้วยกำลังแรงอันหนึ่ง กำลังแรงที่ต้านแรงผลต่อตัวนำทุกตัวนั้น กำหนด
เป็นต้นการได้

$$P = B_m \cdot \frac{i}{10} \cdot (\text{ไดนา}) \quad \dots \quad (148)$$

ตามทฤษฎีการหักเหของกระแสไฟฟ้า

$$i_{\infty} = \frac{Q}{t} \quad (A) \quad \dots \quad (149)$$

คือหมายความว่ากระแสไฟ i เป็นค่าของกระแสไฟที่มีอยู่ในจำนวนไฟฟ้า ซึ่งไหลผ่านไปในพื้นที่หน้าตัดภายในหน่วยของเวลา กระแสไฟ i นี้

ยังเป็นไฟฟ้าประจุที่เคลื่อนไหว

และตรงกันข้ามไฟฟ้าประจุที่

เคลื่อนไหวก่เกิดเป็นกระแสไฟ

ด้วยไฟฟ้าประจุที่เคลื่อนไหว

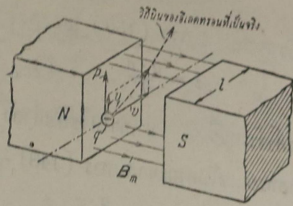
อันเป็นมมดากกับเส้นกำลัง

แม่เหล็ก ดังข้อเดกทรอนที่

บิณอยู่เป็นตัวอย่าง ย่อม

ตกอยู่ภายใต้กฎแห่งการเฉ

ดงในกระแสไฟฟ้าเหมือนกัน



รูป ๑๗๕ แสดงอาการเคลื่อนตัวของอิเล็กตรอนที่กำลังบิณอยู่ด้วยความเร็วประจำไปภายในสนามแม่เหล็ก

ความเร็วพิจารณาถึงอิเล็กตรอนที่เคลื่อนไหวยู่ในอากรอันเป็นมมดากกับเส้นกำลังแม่เหล็กด้วยความเร็วประจำ (รูป ๑๗๕)

อิเล็กตรอนที่ความมความเร็วประจำเป็น v จะต้องใช้เวลานานผ่านระยะทาง l เป็นจำนวน

$$t = \frac{l}{v} \quad (\text{วินาที}) \quad \dots \dots \dots (150)$$

โดยที่ไฟฟ้าประจุ q ของอิเล็กตรอนนั้นเป็นดังที่เรารู้ อันได้จากสมการ (15)

$$q = -1.59 \cdot 10^{-19} \quad (\text{คูลอมบ์}) \quad \text{ก็หาคำนวณหาค่าของกระแส}$$

ไฟ อันมีความเร็วแห่งอิเล็กตรอน v นั้นได้ กระแสไฟมีค่าเป็น

$$i = \frac{q}{t} \quad (A) \quad \dots \dots \dots (151)$$

เมื่อนำค่าของ t จาก (150) ใส่ลงจะได้

$$i = \frac{q \cdot v}{l} \quad (A) \quad \dots \dots \dots (151a)$$

จากค่าข้างต้นนี้ นำเขาไปใช้กับกำลังแรงของสนามแม่เหล็กที่ทำให้
อิเล็กตรอนเขาไปตามแนวสมการ (148) รูป ๓๗๘ เป็น

$$P = B_m \cdot \frac{q \cdot v}{10 \cdot l} \cdot l \quad \dots \dots \dots (152)$$

หรือเมื่อตัดเศษส่วน l ออกเสีย คงได้

$$P = B_m \cdot \frac{q \cdot v}{10} \quad (\text{ไดน์}) \quad \dots \dots \dots (152a)$$

สมการข้างบนนี้ ชี้ให้เห็นว่า กำลังผลักดันให้ของสนามแม่เหล็กอันกระทำ
แก่อิเล็กตรอนนั้น จะมีแรงหรือเบาอย่างไรนั้น ย่อมขึ้นอยู่กับความ
แน่นของสนามแม่เหล็ก B_m และความเร็วในการบิน v ของอิเล็กตรอน
ฉะนั้นถ้าหรับอิเล็กตรอนที่อยู่หนึ่งจะไม่กำลังแรงของสนามแม่เหล็กต่ำแดง
แก่คนแต่อย่างใด

ความเร็ว v_1 (เปรียบเทียบกับรูป ๓๗๘) ที่อิเล็กตรอนเคลื่อนไหว
ออกไปจากวิถีเดิมนี้ จะหาได้จากการพิจารณาต่อไปนคือ

ตามกฎของเมคคานิคส์ปรากฏว่า กำลังแรง P ที่ต่ำแดงคือ
อิเล็กตรอนนั้น อาจเขียนเป็นสมการ

$$P = m \cdot p \quad \dots \dots \dots (153)$$

ในเมื่อ m เป็น มวล ของ อิเล็กตรอน ซึ่ง ตาม สมการ (2)
 $m = 8.99 \cdot 10^{-28}$ กรัม และ p เป็น อัตราเร็ว ของ อิเล็กตรอน

เรา สมมติ เดียว ว่า กำลัง สนาม แม่เหล็ก P ที่ ตั้ง ต่อ อิเล็กตรอน
 อยู่ ภายใน เขต การ เคลื่อน ที่ กำลัง แรง ประจำ (จะเป็น เช่น ไ้ ก็ ต่อ เมื่อ
 สนาม แม่เหล็ก ที่ อิเล็กตรอน บิน ผ่าน ไป นั้น มี ค่า เสมอ เท่า กัน ตลอด) เมื่อ
 เป็น เช่น นั้น อัตราเร็ว p ก็ จำ ต้อง ประจำ ด้วย จึง ได้ อัตราเร็ว เป็น

$$p = \frac{v_1}{t} \quad \dots \quad (154)$$

เมื่อ v_1 เป็น ความเร็ว ที่ อิเล็กตรอน ถูก กำลัง จาก สนาม แม่เหล็ก กระทำ ให้
 บิน เ

t เป็น เวลา ที่ อิเล็กตรอน บิน เ ครุ่น ค่า ของ เวลา t จาก สมการ
 (150) ได้ แทน ลง ใน สมการ (154) จะได้

$$p = \frac{v_1 \cdot v}{l} \quad (\text{ชม/ว}^2) \quad \dots \quad (154a)$$

กำลัง แรง ที่ ต้อง การ ไป ใช้ ทำ ให้ อิเล็กตรอน เผล ออกจาก ทาง เต้น ใน สมการ
 (153) $P = m \cdot p$ จะ กลาย เป็น

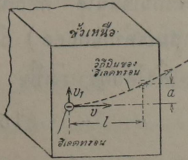
$$P = m \cdot \frac{v_1 \cdot v}{l} \quad (\text{ไดน์}) \quad \dots \quad (153a)$$

ซึ่ง จะ ต้อง เท่า กัน กับ กำลัง สำหรับ ทำ ให้ อิเล็กตรอน เผล ที่ กำหนด ให้ ตาม
 (152a) เมื่อ นำ ส่วน ที่ เท่า กัน ของ สมการ (153a) กับ (152a) มา ตั้ง
 เป็น สมการ ใหม่ จะ ได้

$$m \cdot \frac{v_1 \cdot v}{l} = \frac{B_m \cdot q \cdot m}{10}$$

จากข้างบนนี้ หาคความเร็วที่ทำให้ได้

$$v_1 = \frac{B_m \cdot q \cdot l}{10 \cdot m} \quad (\text{ซม/ว}) \quad \dots \quad (155)$$



รูป ๑๘๐ แสดงวิถีของอิเล็กตรอนที่อยู่ในสนามแม่เหล็ก (เส้นแรงแม่เหล็กของสนามแม่เหล็กพุ่งออกมาจากพื้นหน้าของรูปที่แสดง)

อาการ a เป็นระยะทางซึ่งอิเล็กตรอนบินในวงโค้งที่เดิมอันมีระยะ l โดยการจำกัดเขตดังมา ถัดไป ถัดมา อาการ a เมื่อเปรียบเทียบกับระยะ l แล้ว มีค่าน้อยกว่ากันมากมาย ฉะนั้นจึงอาจเขียน สมการเป็น

$$a = \frac{v_1 \cdot t}{2} = \frac{B_m \cdot q \cdot l}{10 \cdot m} \cdot \frac{t}{2} \quad \dots \quad (156)$$

หรือด้วยค่าของ $t = \frac{l}{v}$ จาก (150) ก็จะได้

$$a = \frac{B_m \cdot q \cdot l}{20m} \cdot \frac{l}{v}$$

$$\dot{a} = \frac{B_m \cdot q \cdot l^2}{20 \cdot m \cdot v} \quad (\text{ซม}) \quad \dots \quad (156a)$$

อาการเฉื่อยของอิเล็กตรอนในสนามแม่เหล็กจะมีมากขึ้น ในเมื่อ
ความเร็วของอิเล็กตรอนน้อยลง อิเล็กตรอนที่บิขจะถูกกำลัง
สนามแม่เหล็กทำให้เดินทางออกไปมากกว่าอิเล็กตรอนที่บิขเร็ว บรรดา
อิเล็กตรอนที่แยกตัวออกมาจากไส้หลอดที่ถูกเผาร้อนนั้น มีความเร็ว
เมื่อหลุดตัวออกมาต่ำ เพราะฉะนั้นอิเล็กตรอนเหล่านี้จึงถูกสนามแม่
เหล็กของไส้หลอดที่ร้อนนั้นทำให้บิขได้ ในเมื่อกระแสไฟเผาไส้แรง
และกำลังดันไฟที่อาโนดต่ำ อาการเฉื่อยของอิเล็กตรอนย่อมมีมาก จนอาจ
ถึงกับอิเล็กตรอนไม่ไปถึงอาโนดเลยก็ได้ ในหลอดที่ใช้กระแสไฟสลับ
เผาไส้ ย่อมจะทำให้มีเสียงเกิดจากการใช้กระแสไฟสลับไปส่ายงก่
เครื่องทวิกำลัง (Amplifier) ได้ แต่ถ้าไม่มีเสียงรบกวนจากกระแส
ไฟสลับดังว่านี้ ก็เป็นหลอดชนิดใหม่ซึ่งไม่ใช้กระแสไฟสลับเผาไส้
โดยตรง และไส้หลอดนั้นทำให้พันไขว้กันอย่าง Bifilar เพื่อให้อาการ
ของสนามแม่เหล็กกลับต่างกัน

สำหรับสมการ (15a) ข้างบนนี้ เมื่อนำเอาความเร็วของอิเล็ก
ตรอนจากสมการ (22a) $v = 595 \cdot 10^5 \sqrt{U_a}$ กับค่าของ q และ m
จาก (15) และ (16) ใส่แทนลงแล้ว จะได้อาการเฉื่อยของอิเล็กตรอนใน
สนามแม่เหล็กอันมีกำลังสม่ำเสมอทั่วกันเป็น

$$a = \frac{B_m \cdot (-1,59 \cdot 10^{-10}) \cdot l^2}{20 \cdot 8,99 \cdot 10^{-28} \cdot 595 \cdot 10^5 \sqrt{U_a}}$$

$$a = - \frac{B_m \cdot l^2 \cdot 1.59 \cdot 10^4}{20 \cdot 8.99 \cdot 595}$$

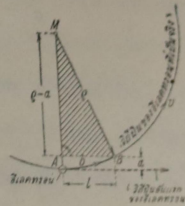
$$a = \frac{B_m \cdot l^2}{6.72 \cdot \sqrt{U_a}} \quad \text{ซม.} \quad (156b)$$

จากสมการข้างบนนี้ อาจคำนวณหาค่าอาการเฉของอิเล็กตรอนในหลอดคาโทดเรย์ (Braunsche Röhre) ได้ ความไวของหลอดคาโทดเรย์และหลอดอิเล็กตรอนทั่ว ๆ ไปที่มีสนามแม่เหล็กเกยวข้องอยู่ด้วยนั้นจะมีมากขึ้น ในเมื่อกำกำลังดันอาโนดของหลอดนั้นน้อยลง ดังตัวอย่างสำหรับหลอดคาโทดเรย์ที่ใช้กำลังดันอาโนดสองสามร้อยโวลต์นั้น เพียงแค่สนามแม่เหล็กของโลกก็ทำให้มีอาการเฉของอิเล็กตรอนรู้ตัวได้

ข. รัศมีแห่งความโค้งและเวลาโคจรรอบวง

ดังที่ได้เรียนรู้มาจากข้างต้นว่า อิเล็กตรอนที่อยู่ในสนามแม่เหล็กนั้น ถูกกำลังของสนามแม่เหล็ก กระทำให้มันเหวี่ยงไปในทิศที่เป็นมุมฉากกับเส้นกำลังแม่เหล็ก และเป็นมุมฉากกับวิถีเดิมที่จะบินไป ส่วนความเร็วของอิเล็กตรอนนั้นคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งต่างกับการกระจายกำลังของไฟฟ้า คราวนี้พิจารณาถึงสนามแม่เหล็กอันมีกำลังสม่ำเสมอทั่วกันที่จำแดง กำลังแก้อิเล็กตรอนที่บินอยู่ด้วยความเร็วประจำ แล้วอิเล็กตรอนนั้นจะบินเคลื่อนไหวเป็นทางเส้นวงกลม ซึ่งมีรัศมีแห่งความโค้ง

อันอาจคำนวณได้ดังในรูป ๑๘๓ สมมติ
ระยะ l ในรูป ๑๘๓ นี้ เป็นระยะสั้นมาก
และอาจใช้ค่า a แทนระยะ ของส่วนโค้ง
อันเป็นส่วนหนึ่งของเส้นรอบวง b ได้
อย่างใกล้เคียง ซึ่ง b เป็นวงกลมอัน
แท้จริงของอิเล็กตรอนจาก A ไป ถึง B
ในระหว่าง ระยะแห่งความโค้ง g , ระยะ
 l และ อาจารณ a นี้ ประกอบกันขึ้นเป็น
รูปสามเหลี่ยม ทึมเหนือท เป็นเส้นทางตั้ง.



รูป ๑๘๑ แสดงรูป การคำนวณ
หาระยะแห่งความโค้งของอิเล็กตรอน
ในเมื่อมีความเร็วเป็นประจำ อยู่ภายใน
สนามแม่เหล็ก อันมีกำลังสม่ำเสมอ
เสมอทั่วหน้า

ในรูป ๑๘๓, และมีความสัมพันธ์แห่งสามเหลี่ยมมุมฉากเป็น

$$g^2 = (g-a)^2 + l^2 \dots \dots (157)$$

หรือ

$$g^2 = g^2 - 2 \cdot g \cdot a + a^2 + l^2 \dots \dots (157a)$$

$$l^2 = 2 \cdot g \cdot a - a^2$$

ค่าของ a นี้ เมื่อเปรียบกับขนาดส่วนอื่น ๆ แล้วมันน้อยมาก ฉะนั้นค่า
ของ a^2 จึงอาจตัดออกเสียได้ ฉะนั้น

$$l^2 = 2 \cdot g \cdot a \dots \dots (157b)$$

นำเขาค่า l ไปได้ในสมการ (156b) แล้วหาค่าของ g อันเป็นระยะแห่ง
ความโค้งของวิถีบินโดยอิเล็กตรอน

๓๒๖

$$a = \frac{B_m \cdot l^3}{6,72 \cdot \sqrt{U_a}}$$

$$a = \frac{B_m \cdot 2 \cdot g \cdot a}{6,72 \cdot \sqrt{U_a}}$$

$$g = \frac{6,72 \sqrt{U_a}}{2 \cdot B_m}$$

$$g = \frac{3,36 \cdot \sqrt{U_a}}{B_m} \quad \text{ซม.} \dots \dots (158)$$

วิธีนี้หาความโค้งของตัวถ่วงกลม ที่อิเล็กตรอนโคจรรวดเป็นทางไป
ในสนามแม่เหล็กที่มีกำลังสม่ำเสมอจะน้อยลง เมื่อกำลังดันไฟฟ้าที่ใช้
เพื่อทำให้มีความเร็วของอิเล็กตรอนน้อยลง และเมื่อกำลังของสนาม
แม่เหล็กที่ต้านแรงฮอลล์อิเล็กตรอนแรงขึ้น ข้อความที่กล่าวมานี้มองเห็น
ได้ชัดเจนจากความสัมพันธ์ของสมการ (158) แล้ว แต่ข้อที่ควรสังเกต
อีกอย่างหนึ่งก็คือว่า ความสัมพันธ์ในสมการนี้ สมมติเขาว่าความเร็ว
ของอิเล็กตรอนประจำ ซึ่งพออิเล็กตรอนย่างเข้าสู่สนามแม่เหล็กกลม
ความเร็วอันจะเกิดด้วยกำลังดันไฟฟ้า U_a กระทำทีเดียว ในหลอดที่มี
ได้จุลเส้นเล็กบางมาก และเส้นผ่านศูนย์กลางกะบอกของฮาไลด์ใหญ่ก็
จะมีค่าใกล้เคียงกันไปได้ ทั้งนี้เนื่องจากส่วนใหญ่ของโปเตนเชียล

คนนั้นยังเกิดอยู่ณะบริเวณข้างใต้จุดหยดตนเอง ส่วนในหลอดจำพวก
ที่เดินผ่าน ศูนย์กลาง ของกระบอกฮาไลต์ไม่ใหญ่กว่าของคาโทดมากเกิน
สมควร ดังตัวอย่างเช่น ในหลอดที่ใช้คาโทดเผาโดยวิธีอื่นแล้ว อากาศ
ของโปเตนเซียลก็ใกล้จะสม่ำเสมอตลอด ความเร็วของอิเล็กตรอนนั้น
จะท่วมากขึ้นตามส่วนที่เข้าใกล้ฮาไลต์ และวิถีบินของอิเล็กตรอนก็เ
อวกนอกแนวทางที่เป็นวงกลมมากขึ้น

เวลาโคจรบรรจบวง ขึ้นเป็นเวลาทีอิเล็กตรอนตัวหนึ่งต้องการใช้
ในการโคจรรอบวงครึ่งหนึ่ง คำนวณหาได้โดยอาศัย ๑. วิถีที่อิเล็ก
ตรอนบินวนรอบครึ่งหนึ่งเป็นระยะ $2\pi r$ และความเร็วที่อิเล็กตรอน
บินวนรอบนั้นค่าเป็น v ฉะนั้นเวลาโคจรบรรจบวงของอิเล็กตรอนจึงเป็น

$$T = \frac{2\pi r}{v} \quad (\text{วินาที}) \quad \dots (159)$$

โดยที่ความเร็ว ของอิเล็กตรอน v นั้นขึ้นอยู่กับความเร่งที่กระทำกับมัน
ทำให้ อิเล็กตรอนมีพลังงาน U ฉะนั้นจึงอาจใช้ v นี้ตามค่าของความเร็ว
อิเล็กตรอนใน สมการ (22a) ได้ ใน สมการ (159) นี้ เมื่อนำค่า
ของ v จากสมการ (141) แทนลง ก็จะได้ค่าของเวลาโคจรบรรจบ
วงเป็น

$$T = \frac{2\pi \cdot 3.36 \cdot \sqrt{U_a}}{595 \cdot 10^5 \cdot \sqrt{U_a}} \quad \dots \dots (159a)$$

หรือ

$$T = \frac{0.355 \cdot 10^{-6}}{B_m}$$

วินาที (159b)

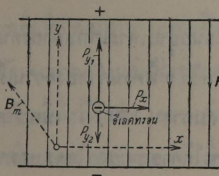
เวลาโคจรบรรจบวงของอิเล็กตรอนแต่ละทีนี้ คงขึ้นอยู่กับระยะแต่
กับความแน่นสนามแม่เหล็ก B_m ฉะนั้นสนามแม่เหล็กของโลกดังตัวอย่าง
($B_m = 0.45$ เกาส์) เมื่อเป็นมุมลาดกับวิถีบินของอิเล็กตรอน จะทำ
ให้เกิดเวลาโคจรบรรจบวงของอิเล็กตรอนเป็น

$$T = \frac{0.355 \cdot 10^{-6}}{0.45} = 0.79 \cdot 10^{-6} \text{ วินาที}$$

ซึ่งตรงกับฟริควเ้นซ์แห่งการโคจร

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.79 \cdot 10^{-6}} = 1.27 \cdot 10^6 \text{ ไซเคิล}$$

2. วิถีของอิเล็กตรอนที่บินไปในสนามแม่เหล็กไฟฟ้าอันมีกำลัง



สม่ำเสมอทั่วหน้า

ก) ความเบี่ยงเบน

อิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ไวกวอยู่ภาย
ในสนามไฟฟ้า อันมีกำลังสม่ำเสมอ
(H_e) อันเป็นมุมฉากกับสนามแม่เหล็ก
อันสม่ำเสมอ (B_m) ในทำนองที่

รูป ๑๘๒ แสดงอิเล็กตรอน
ตัวหนึ่ง อยู่ภายในสนามแม่เหล็ก
ไฟฟ้าอันมีกำลังสม่ำเสมอทั่วหน้า

แสดงอาการอยู่ในรูป ๑๘๒ ฉะนั้นจึงมีกำลังสนามกำลังกระทำแก่อิเล็กตรอน
อยู่ในเวลาเดียวกัน คือ

(1) กำลังจากสนามแม่เหล็กอันกระทำแก่อิเล็กตรอน ซึ่งแสดง
ค่าตามสมการ (15a) ได้

$$P_{y_1} = H_e \cdot q \cdot 10^7 \quad (\text{ไดน์}) \quad \dots \dots (160)$$

ฉะนั้น H_e เป็นกำลังแรงของสนามไฟฟ้าคิดเป็น โวลต์/ซม.

q เป็นไฟฟ้าประจุของอิเล็กตรอน

(2) โดยกำลัง สนามแม่เหล็กกระทำแก่อิเล็กตรอน ดังกล่าวแล้ว
ใน (1) จึงทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนไหวไปในทิศของแกน y (รูป ๑๘๒)
และได้ความเร็วของอิเล็กตรอนไปในแกนนั้นเป็น v_y ทั้งถูกกำลังของสนาม
แม่เหล็กอันเป็นมุมฉากอยู่กับสนามไฟฟ้ากระทำให้เฉไปในทิศเป็นมุมฉาก
กับสนามไฟฟ้า ซึ่งกำลังที่ต่ำแดงคือ อิเล็กตรอนในทิศที่เฉไปนั้น กำหนด
ด้วย P_x อันหาได้จากสมการ (152a) เป็น

$$P_x = \frac{B_m \cdot q \cdot v_y}{10} \quad (\text{ไดน์}) \quad \dots \dots (161)$$

B_m ฉะนั้นเป็นความแน่นของเส้นแม่เหล็กคิดเป็น เกาส์

(3) กำลัง P_x นี้ เป็นผู้กระทำให้เกิดมีอาการเคลื่อนไหวของ
อิเล็กตรอนไปในทิศขนานกับแกน x ด้วยความเร็ว v_x อิเล็กตรอนจะถูก
กำลังของสนามแม่เหล็กกระทำตามสมการ (161) เป็น

$$P_{v_2} = \frac{B_m \cdot q \cdot v_x}{10} \quad \text{โตน} \quad \dots \quad (162)$$

อนึ่ง กำลังที่แสดงให้อิเล็กตรอนเคลื่อนไหวไปในทิศเดิมของแกน y [อากาศเช่นนี้เป็นอย่างเดียวกันกับอากาศ ของตัวนำอันมีกระแสไฟฟ้ากำลังไหลผ่านวางอยู่ในสนามแม่เหล็ก ตัวนำนั้นจะเคลื่อนตัวออกจากสนามแม่เหล็ก และในเวลาเดียวกันนั้นเอง เกิดกำลังดันไฟฟ้าขึ้นในตัวนำด้วย]

กำลังที่แสดงให้อิเล็กตรอนในแนวแกน y โดยแท้จริงนั้นมีเพียง

$$P_v = P_{v_1} - P_{v_2} \quad \dots \quad (163)$$

เมื่อถือเอาว่า กำลังแรงนี้ เท่ากับแม่เหล็กด้วยอัตราเร่งแล้ว จะได้ความสัมพันธ์ของสมการ (163), (160) และ (162) เป็นรูป

$$P_v = m p_v$$

$$P_{v_1} = H_e \cdot q \cdot 10^7$$

$$P_{v_2} = \frac{B_m \cdot q \cdot v_x}{10}$$

$$P_{v_1} - P_{v_2} = P_v$$

$$H_e \cdot q \cdot 10^7 - \frac{B_m \cdot q \cdot v_x}{10} = m \cdot p_v \quad \dots \quad (164)$$

กำลังแรงที่ต้านแรงต่ออิเล็กตรอนไปในแนวแกน x ตามหลักสมการ (161) จะเป็น

$$\frac{B_m \cdot q \cdot v_y}{10} = m \cdot p_x \quad \dots \quad (165)$$

ณที่ m เป็นแม่เหล็กของอิเล็กตรอน p_y และ p_x เป็นอัตราเร่ง
ขนานกับแกน y และแกน x ตามลำดับ

ข) ผลลัพธ์

ผลลัพธ์ของสมการ (164) และ (165) จะปรากฏว่า การ
เคลื่อนไหวของอิเล็กตรอนเป็นรูปไซคลอยด์ ซึ่งแทนด้วยสมการ
ดังข้างล่างนี้

$$x = v_K t - \frac{1}{\omega} \sin \omega t \quad (\text{ซม.}) \quad \dots \dots (166)$$

$$\text{และ} \quad y = y_0 - \frac{1}{\omega} \cos \omega t \quad (\text{ซม.}) \quad \dots \dots (167)$$

จากสมการนี้ อาจแสดงความสัมพันธ์ของค่าต่าง ๆ ออกเป็นพวก ๆ
ได้คือ

$$\left. \begin{aligned} v_K &= \frac{H_p}{B_m} \cdot 10^3 \quad (\text{ซม./ว}) \\ \omega &= 0.177 \cdot B_m \cdot 10^3 \quad (1/\text{ว}) \\ \omega &= \frac{\sqrt{(v_{x0} - \frac{H_p}{B_m} \cdot 10^3)^2 + v_{y0}^2}}{\omega} \end{aligned} \right\} \quad (168) *$$

y_0 เป็นตัวประจำ ซึ่งแสดงค่าที่จุดออก

v_{x0} และ v_{y0} เป็นคอมโพเนนต์ของความเร็วต้น

อาการเคลื่อนไหวนี้ อาจคิดอย่างอาการเคลื่อนไหวที่ดัดแปลง

อาการรวมกันขึ้นเป็นวงนำไปในลักษณะของเส้นตรง ซึ่งกระทำ

เป็นมุมฉากอยู่กับสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กด้วยความเร็ว v_K และ

* แสดงวิธีพิสูจน์ไว้ ในหน้า ๓๓๓-๓๓๖

นำค่าของสมการ (5) นี้ใส่ลงใน (3) จะได้

$$H_e \cdot q \cdot 10^7 - \frac{B_m \cdot q \cdot v_x}{10} = m \cdot \frac{m}{q} \cdot \frac{10}{B_m} \cdot \frac{d^3 v_x}{dt^3}$$

$$H_e \cdot q \cdot 10^7 = \frac{B_m \cdot q \cdot v_x}{10} + \frac{m^3}{q} \cdot \frac{10}{B_m} \cdot \frac{d^3 v_x}{dt^3} \quad \dots \quad (3a)$$

คราวนี้พิจารณาต่อไปถึงวิถีทางของสมการจากโจทย์

$$v_x = v_K - \vartheta \omega \cos \omega t \quad \dots \quad (6)$$

เมื่อคิดเฟอเรนเชียลจะได้

$$\frac{dv_x}{dt} = \vartheta \omega^2 \sin \omega t \quad \dots \quad (7)$$

และ

$$\frac{d^3 v_x}{dt^3} = \vartheta \omega^3 \cos \omega t \quad \dots \quad (8)$$

เมื่อนำค่าของ (6) และ (8) ใส่แทนลงใน (3a) จะได้

$$H_e \cdot q \cdot 10^7 = \frac{B_m \cdot q}{10} (v_K - \vartheta \omega \cos \omega t) + \frac{m^3}{q} \cdot \frac{10}{B_m} \cdot \vartheta \omega^3 \cos \omega t$$

$$H_e \cdot q \cdot 10^7 = \frac{B_m \cdot q}{10} v_K - \frac{B_m \cdot q}{10} \vartheta \omega \cos \omega t + \frac{m^3}{q} \cdot \frac{10}{B_m} \cdot \vartheta \omega^3 \cos \omega t \quad \dots \quad (9)$$

ถ้าหับ $t = \frac{T}{4}$ ค่าของ $\cos \omega t = 0$ ฉะนั้น

$$H_e \cdot q \cdot 10^7 = \frac{B_m \cdot q}{10} \cdot v_K \quad \dots \quad (10)$$

ความเร็วประจำของสมการจึงมีค่าเป็น

$$v_K = \frac{H}{B_m} \cdot 10 \quad \text{ชม/ด} \quad \dots \quad (10a)$$

เมื่อนำค่าของ v_k ใส่ลงใน (9) จะได้

$$H_e \cdot q \cdot 10^7 = \frac{B_m \cdot q}{10} \cdot \frac{H_e}{B_m} \cdot 10^8 - \frac{B_m \cdot q}{10} \cdot g \omega \cos \omega t$$

$$+ \frac{m^2}{q} \cdot \frac{10}{B_m} \cdot g \omega^3 \cos \omega t$$

$$0 = - \frac{B_m \cdot q}{10} \cdot g \omega \cos \omega t + \frac{m^2}{q} \cdot \frac{10}{B_m} \cdot g \omega^3 \cos \omega t \quad \text{.. (11)}$$

$$\frac{B_m \cdot q}{10} = \frac{m^2}{q} \cdot \frac{10}{B_m} \cdot \omega^3 \quad \text{จากนี้จะหาค่าของ } \omega \text{ ได้}$$

$$\omega^2 = \frac{B_m}{10^2} \cdot \frac{q^2}{m^2}$$

$$\omega = \frac{B_m}{10} \cdot \frac{q}{m} = \frac{B_m}{10} \cdot \frac{(-1.59 \cdot 10^{-19})}{8.99 \cdot 10^{-28}} = - \frac{1.59}{8.99} \cdot B_m \cdot 10^8$$

$\omega = 0.177 \cdot B_m \cdot 10^8$

(1/q) .. (11a)

คราวนี้นำค่าของ (7) ใส่แทนลงใน (4) และหาค่าของ v_y

$$\frac{B_m \cdot q \cdot v_y}{10} = m \cdot g \cdot \omega^2 \cdot \sin \omega t$$

$$v_y = \frac{10}{q \cdot B_m} \cdot m \cdot g \cdot \omega^2 \cdot \sin \omega t$$

$$v_y = \frac{10}{B_m} \cdot \frac{m}{q} \cdot \frac{B_m}{10} \cdot \frac{q}{m} \cdot g \omega \sin \omega t$$

$$v_y = g \cdot \omega \cdot \sin \omega t \quad (\text{ตาม/๑}) \quad \text{.. .. (12)}$$

โดยการใส่กำลังสองของ (12) และ (6) แล้วบวกกันจะได้

$$v_y^2 = g^2 \omega^2 \sin^2 \omega t$$

$$(v_x - v_K)^2 = (-g \omega \cos \omega t)^2$$

$$(v_x - v_K)^2 = g^2 \omega^2 \cos^2 \omega t$$

$$(v_x - v_K)^2 + v_y^2 = g^2 \omega^2 (\sin^2 \omega t + \cos^2 \omega t) \quad \dots (13)$$

$$(v_x - v_K)^2 + v_y^2 = g^2 \omega^2$$

$$g^2 = \frac{(v_x - v_K)^2 + v_y^2}{\omega^2}$$

$$g = \frac{\sqrt{(v_x - v_K)^2 + v_y^2}}{\omega} \quad \dots \dots (13a)$$

หรือด้วย v_K จาก (10a) สำหรับ v_x และ v_y เราต้องการความเร็วต้น v_{xo} และ v_{yo} ได้ดังต่อไปนี้ร่วมกัน จะได้

$$g = \frac{\sqrt{\left(v_{xo} - \frac{H_a}{B_m} \cdot 10^8\right)^2 + v_{yo}^2}}{\omega} \quad \dots \dots (13b)$$

โดยอินทิเกรต สมการ (6) และ (12) จะได้ โคออร์ดิเนต ของวิถี

อิเล็กตรอน เป็น

ขนาด

$$v_x = v_K - g \omega \cos \omega t$$

$$\frac{dx}{dt} = v_K - g \omega \cos \omega t$$

$$dx = v_K dt - g \omega \cos \omega t dt$$

$$\int dx = \int v_K dt - \int g \omega \cos \omega t dt$$

$$\int dx = v_K \int dt - g \int \cos \omega t d\omega t$$

$$x = v_K \cdot t - g \sin \omega t \quad \dots (166)$$

$$v_y = g \omega \sin \omega t$$

$$\frac{dy}{dt} = g \omega \sin \omega t$$

$$dy = g \omega \sin \omega t dt$$

$$\int dy = \int g \sin \omega t d\omega t$$

$$y = -g \cos \omega t + K$$

$$K = \text{Konstant} = y_0$$

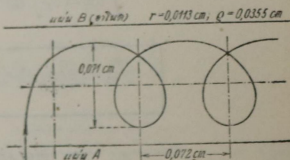
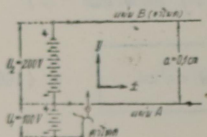
$$y = K - g \cos \omega t$$

$$y = y_0 - g \cos \omega t \quad \dots \dots (167)$$

ก) ตัวอย่างที่กำหนดจำนวนเลข

ตัวอย่าง 1

จงหาความถี่ของอิเล็กตรอน ที่เบี่ยงเบนฉากกับ อิเล็กตรอนที่มี
สนามแม่เหล็กสม่ำเสมอที่วางตัวในระหว่าง อิเล็กตรอนนั้น ด้วยกำลัง
ของสนาม $B_m = 1000$ เกาส์



รูป ๑๘๔ แสดงการวางอิเล็กตรอน
ที่ใช้ ในการคำนวณ ของตัวอย่าง ๑
(สนามแม่เหล็กสม่ำเสมอที่วางตัว
ตัวขนานกับ แกนของหลอด ในทางเป็น
มุมฉากกับพื้นของรูปที่เขียนแสดง)

รูป ๑๘๕ แสดงวิถีบินของอิเล็กตรอน
ที่อยู่ในระหว่างอิเล็กตรอนมีความ
สัมพันธ์กัน ในรูป ๑๘๔

วิธีทำ

ความเร็วของอิเล็กตรอนที่เบี่ยงเบนฉากกับ อิเล็กตรอนที่มี
กำลังสม่ำเสมอที่วางตัวในระหว่าง อิเล็กตรอนนั้น และ B ต้องเป็น
(รูป ๑๘๔) ตามสมการ (22a) เราได้ค่าของความถี่

๓๓๕

$$\begin{aligned} v_{yo} &= 595 \cdot 10^5 \cdot \sqrt{U_1} = 595 \cdot 10^5 \cdot \sqrt{100} \\ &= 595 \cdot 10^6 \quad \text{ซม./ว} \end{aligned}$$

ความเร็วเห (Deflecting velocity) ในสนามไฟฟ้าที่มีกำลังสม่ำเสมอ
เท่ากัน ระหว่างแผ่นสองแผ่น A กับ B อันมีกำลังแรงของสนามไฟฟ้าเป็น

$$H_e = \frac{U_2}{a} = \frac{200}{0,1} = 2000 \quad \text{โวลต./ซม.}$$

ถ้าแรงแกว่งอิเล็กตรอนนั้น จะทำให้ อิเล็กตรอน มีความเร็ว ตามกำลัง
ของ $B_m = 1000$ จากสมการ (168) เป็น

$$v_K = \frac{H_e}{B_m} \cdot 10^8 = \frac{2000}{1000} \cdot 10^8 = 200 \cdot 10^6 \quad \text{ซม./ว}$$

ฟรีควเอนซ์ของวงจร อันจำกัดอยู่ด้วย $B_m = 1000$ นั้น หาได้จาก
สมการ (168)

$$\begin{aligned} \omega &= 0,177 \cdot B_m \cdot 10^8 = 0,177 \cdot 1000 \cdot 10^8 \\ &= 1,77 \cdot 10^{10} \quad 1/\text{ว} \end{aligned}$$

รัศมีของวงกลิ้ง (Radius of rolling circle) จะหาได้ ตาม (168)
ในเมื่อกำหนด ($v_{xo} = 0$) คือ

$$\begin{aligned} g &= \frac{\sqrt{v_K^2 + v_{yo}^2}}{\omega} = \frac{\sqrt{(200 \cdot 10^6)^2 + (595 \cdot 10^6)^2}}{1,77 \cdot 10^{10}} \\ &= 0,0355 \quad \text{ซม.} \end{aligned}$$

รัศมีของวงนำหาได้ตาม (170)

$$r = \frac{v_K}{\omega} = \frac{200 \cdot 10^9}{1,77 \cdot 10^{10}} = 0,0113 \text{ ซม.}$$

จากค่าคำนวณได้ข้างบนนี้ เมื่อนำมาเขียนรูปแสดงวิถีบิน ของอิเล็กตรอนในระหว่างแผ่น A และ B เราจะได้รูปปรากฏ เป็น วิถีบิน ดังในรูป ๑๘๕

ตัวอย่าง 2

หลอดอิเล็กตรอนหลอดแบบขนานกัน มีกำลังดันไฟฟ้ากระทำอยู่ที่คาโนด $U_a = 50$ โวลต์ ระยะห่างระหว่าง คาโทด กับคาโนด $a = 0,1$ ซม.

จงหาว่า อิเล็กตรอนที่ออกมาจาก คาโทดด้วยความเร็วต้นศูนย์ ถึงได้ฉากกับสนามไฟฟ้าอันมีกำลังสนามแม่เหล็กต่ำแดงอากาศอยู่เป็นกำลัง $B_m = 3000$ เกาส์ (ฉะนั้นไม่คิดถึง อากาศ ของไฟฟ้าประจุห้วงว่าง) จะมีวิถีบินของอิเล็กตรอนอย่างไร ?

วิธีทำ

กำลังแรงของสนามไฟฟ้าหาได้

$$H_e = \frac{U_a}{a} = \frac{50}{0,1} = 500 \text{ โวลต์/ซม.}$$

ตามสมการ (168) ได้

$$v_K = \frac{H_e}{B_m} \cdot 10^8 = \frac{500}{300} \cdot 10^8 = 1,67 \cdot 10^8 \text{ ซม./จ.}$$

และ

$$\omega = 0,177 \cdot B_m \cdot 10^8 = 0,177 \cdot 300 \cdot 10^8 \approx 53 \cdot 10^8 \text{ 1/จ.}$$

โดยเหตุที่ตามโจทย์กำหนดว่า $v_{x0} = 0$ และ $v_{y0} = 0$,

$$\therefore g = \frac{\sqrt{v_K^2 + v_{y0}^2}}{\omega} = \frac{v_K}{\omega} = \frac{1,67 \cdot 10^8}{53 \cdot 10^8} = 0,0315 \text{ ซม.}$$

ตามสมการ (170) $r = \frac{v_K}{\omega}$ ได้ค่าของรัศมีแห่งวงนำ (Leit-kreis) ทำนองเดียวกัน คือเป็น

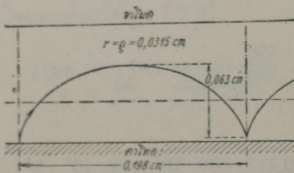
$$r = \frac{1,67 \cdot 10^8}{53 \cdot 10^8} = 0,0315 \text{ ซม.}$$

ซึ่งเท่ากับ g

อันเป็นไปตามการสร้างรูป ไซคลอยด์แสดงอยู่ในรูป ๓๘๒b และปรากฏวิถีบิน ของ อิเล็กตรอน ที่ออกจาก คาโทด ด้วย ความเร็ว ต้นสุด ดังในรูป ๓๘๖

ตัวอย่าง 3

งหาวิถีบิน ของอิเล็กตรอนในหลอดคาโทดเรย์ (Braunschen



รูป ๑๘๖ แสดงวิถีบินของอิเล็กตรอนภายในหลอดคณม้ออิเล็กโทรดแผ่นแบนประกอบในตัวอย่าง ๒ (สนามแม่เหล็กกำลังสม่ำเสมอทั่วหน้ากันกระทำเป็นมุมฉากกับพื้นของรูปที่แสดง)

วิธีทำ

ภายหลังจากเมื่อได้ ค่อกำลังคณ ฮาโนด เข้าไปจน จำแดงผลน^๕อิเล็กตรอนค่วหนึ่งจะมีคณเร็วหาได้ตามสมการ (22a) เป็น

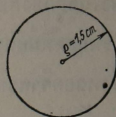
$$v = 595 \cdot 10^5 \cdot \sqrt{U_a} = 595 \cdot 10^5 \cdot \sqrt{500}$$

$$= 1330 \cdot 10^5 \text{ ซม./ว}$$

โดยที่ในหลอดเบราน (Braun Tube) น้มกำลังแรงสนามไฟฟ้า H , คณหลังฮาโนดเป็นศูนย์ เพราะฉะนั้นจึงได้ความเร็วแห่งการเลือน^๕ให้ไปทางขวางตาม (168) เป็น

$$v_K = 0$$

Röhre) ซึ่งมกำลังคณไฟฟ้ากระทำแก่ฮาโนด $U_a = 500$ โวลต. และสนามแม่เหล็กอิน^๕สมำ^๕เลมอซึ่งกระทำเป็นมุมฉากกับทิศบินของอิเล็กตรอนข้างหลังฮาโนดมีกำลังเป็น $B_m = 50$ เกาส์



รูป ๑๘๗

(v_{x0} ณระดับเบสต้น)

פרקונו של דוגרין נובע מ $B_m = 50$ הא
 דלמ (168)

อเลกทรอนอันมีความ
เร็วบินประจำ อยู่ภายใน
สนามแม่เหล็กอัน
มีกำลังสม่ำเสมอทั่ว
หน้ากันประกอบในตัว
อย่าง ๓

$$\omega = 0,177 \cdot B_m \cdot 10^8 = 0,177 \cdot 50 \cdot 10^8 = 8,85 \cdot 10^8 \text{ 1/с}$$

จากค่าของ ω ที่หาได้นั้น ตาม (168) จึงได้ค่าของ

$$g = \frac{v_{\text{yo}}}{\omega} = \frac{1330 \cdot 10^6}{8.85 \cdot 10^8} \approx 1,5 \text{ м.}$$

รัศมีวงนำ (Leitkreisradius) r หาได้โดย $H_c = 0$ เมื่อพิจารณา

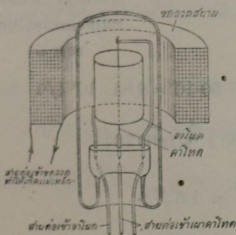
ตาม (170a) แล้ว ค่าของ r ก็เป็นศูนย์อยู่ตามธรรมชาติ

ควรวนอเลคทรอนจะมีวิถีเป็นภาพดังในรูป ๑๑๗ คือมีวิถีเป็นวงกลม ด้วยรัศมี $g = 1,5$ ซม. ลักษณะที่ปรากฏอยู่ขณะนั้นเป็นไปตามตอน ๑ ข. (หน้า ๓๒๕)

3. หลอดแมกเนตรอน

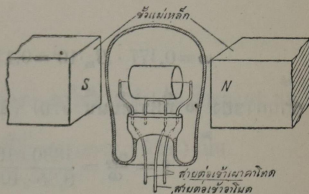
หอดอดแมกเนทรอนนั้นเขาใจกันว่า เป็นหอดอดที่แตกทรอนทกระแด่ไฟ

ฮาโนดถูกบังคับด้วยกำลังของสนามแม่เหล็ก ตามทางใช้การโดยปกติ ใช้หลอดที่มีลักษณะการติดต่อดังต่อไปนี้ ดังในรูป ๑๔๗ และ ๑๔๘ ซึ่งหลอดคำพวกนี้มีสนามแม่เหล็กเดินในแนวของแกนบอกฮาโนด เมื่อคอรูค่อสายของฮาหลอดและขดลวดตั้งที่ปรากฏอยู่ในรูป ๑๔๐ ก็จะได้กระแสไฟของฮาโนด I_0 ซึ่งถูกบังคับด้วยกำลังของสนามแม่เหล็กอันเกิด^{ขึ้น}จากกระแสไฟทำให้เกิดแม่เหล็กในขดลวด I_m การบังคับกระแสไฟฮาโนด I_0 ให้มีมากขึ้นด้วยกำลังของสนามแม่เหล็กอันอาศัยการทำ



รูป ๑๔๗ แสดงหลอดแมกเน

ทรอนที่มีสนามแม่เหล็กขนาน
ตามแกน

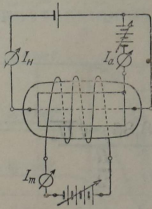


รูป ๑๔๘ แสดงหลอดแมกเนทรอนอยู่

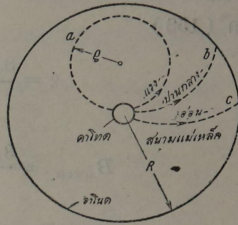
ในระหว่างขั้วแม่เหล็กของแม่เหล็กไฟฟ้า

ให้อิเล็กตรอนมีแนวทางออกไปด้วยกำลังของสนามแม่เหล็ก สมมติว่าทางกำลังของสนามแม่เหล็กภายในหลอดนั้นสม่ำเสมอทั่วหน้ากัน และถือเอาเสี้ยวว่าส่วนใหญ่ของกำลังดันฮาโนดที่อยู่ใกล้กับคาโทดนั้นมีความดันสูงได้ เมื่อเป็นเช่นนั้นอิเล็กตรอนเหล่านี้ก็จะเกิดเคลื่อนไหว

ไป ซึ่งพอต่อเอาว่าเป็นรูปวงกลมอันมีรัศมีแห่งความโค้ง R รูป ๑๔๑ แสดงให้เห็นทางเดินของอิเล็กตรอนที่อยู่ในสนามแม่เหล็กซึ่งมีความแน่นต่าง ๆ กันภายใต้กำลังดันอาโนดประจำ จากรูปที่แสดงนี้ ทำให้รู้ลักษณะแห่งอาการของสนามไฟฟ้ากระทำแก่อิเล็กตรอนภายในหลอดเป็นสองลักษณะคือ



รูป ๑๔๐ แสดงวงจรอันเป็นหลัก
สำหรับวัดหาเส้นลักษณะของหลอด
แมกนตรอน



รูป ๑๔๑ แสดงวิถีบินของอิเล็กตรอน
อย่างใกล้เคียงอยู่ในหลอดแมกนตรอน
ในเมื่อกำลังดันไฟอาโนดมีค่าประจำ และ
ความแน่นสนามแม่เหล็กต่าง ๆ กัน

- a) $B_m < B_{m \text{ krit}}$; b) และ c)
 $B_m < B_{m \text{ krit}}$

อิเล็กตรอนบินเข้าไปถึงอาโนดลักษณะหนึ่ง กับเข้าไปไม่ถึงอาโนด
แต่บินกลับคืนมาสู่คาโทดอีกลักษณะหนึ่ง ในลักษณะที่หนึ่งกระแสไฟ
อาโนดไหลเต็มที่ ส่วนในลักษณะที่สองกระแสไฟอาโนดไม่มี เพราะ

ข้อแตกต่างนี้ถูกกักไม่ให้เข้าไปหาอาโนดได้ ตามรูป ๓๘๓ นั้นยังเกิดการ
กักกระแสไฟอาโนดขึ้นใน

$$\text{เมื่อ } 2g \leq R \quad \dots \quad (170b)$$

ด้วยค่าของ g จากสมการ (158) นั้น อาจคำนวณหาค่าของความ
แน่นสนามแม่เหล็กที่จำเป็นต้องใช้สำหรับกักมิให้กระแสไฟอาโนดไหลได้
 $B_{m \text{ krit}}$

จาก (158)

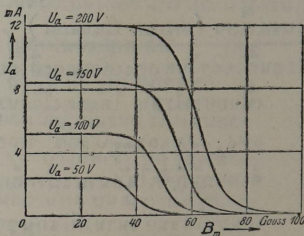
$$g = \frac{3,36 \cdot \sqrt{U_a}}{B_m}$$

$$B_{m \text{ krit}} = \frac{3,36 \cdot \sqrt{U_a}}{g} = \frac{3,36 \cdot \sqrt{U_a}}{\frac{R}{2}}$$

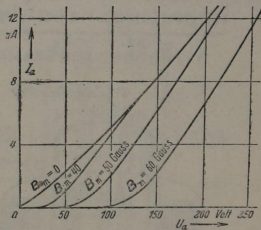
$$B_{m \text{ krit}} = \frac{6,72}{R} \cdot \sqrt{U_a} \quad (\text{เกาส์}) \quad \dots \quad (171)$$

เมื่อแสดงรูปเส้นโค้งของกระแสไฟอาโนด I_a อันสัมพันธ์กับความ
แน่นของสนามแม่เหล็ก B_m แล้วจะเห็นได้ว่า กระแสไฟ I_a ตกตง
เป็นศูนย์ในเมื่อค่าของความแน่นสนามแม่เหล็กเป็น $B_{m \text{ krit}}$ การ
ถือเอาได้ว่า ความเร็วของบรรดาอิเล็กตรอนทั้งหลายนั้นค่าเท่า ๆ
กัน และอาโนดก็เป็นรูปกระบอกกลมเท่ากันตลอด สนามแม่เหล็กที่
แม่เหล็กเดินขนานกับแกนของกระบอกอาโนด คาโทดเป็นเส้นตรงโดยแท้
นอกจากนี้ ยังต้องคิดถึงการกระจายของ สนาม แม่เหล็ก ออกจาก การ
พิจารณาด้วย โดยที่ลักษณะต่าง ๆ ที่จะทำให้เป็นดังกล่าวแล้วนี้ ทั้ง

ทางฟิสิกส์และทางเทคนิคการช่างไม่อาจสามารถทำได้ เพราะฉะนั้น กระแสไฟฟ้านี้จะทำให้ตกต่ำลงได้ขึ้นมากน้อยอย่างไร ย่อมแล้วแต่ ลักษณะที่จะเข้าใกล้เคียงกับเกณฑ์สมมติที่ตั้งไว้ สมมติว่า ถ้าสามารถ จะสร้างหลอดให้ได้ลักษณะต่าง ๆ ตั้งวางเกณฑ์ไว้ทุกประการแล้ว กระแสไฟฟ้านี้จะต้องตกต่ำลงภายในเขตของกระแสไฟเริ่มต้น (Anlaufstromgebiet) และจะต้องขึ้นมากด้วย การวัดกระแสไฟฟ้านี้ I_a อันสัมพันธ์ขึ้นกับความแน่นของสนามแม่เหล็กตามวงไฟฟ้าแสดงอยู่ใน



รูป ๑๕๒ แสดงกระแสไฟฟ้านอนสัมพันธ์ขึ้นกับความแน่นสนามแม่เหล็กเมื่อกำลังดันอาโนดต่าง ๆ



รูป ๑๕๓ แสดงกระแสไฟฟ้านอนของหลอดแบบแคโทดร้อน อันสัมพันธ์ขึ้นกับกำลังดันอาโนดด้วยความแน่นของสนามแม่เหล็กต่าง ๆ

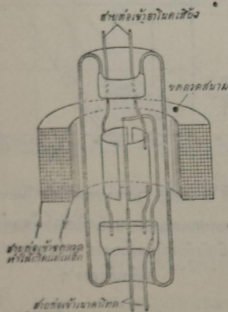
รูป ๑๕๔ ของหลอดแบบแคโทดสร้างได้ถูกเกณฑ์กำหนดน้อยมากนั้น แสดงรูปของเส้นโค้งแห่งผลของการวัดอยู่ในรูป ๑๕๒ เมื่อเขียนเส้นโค้งของกระแสไฟ I_a อันสัมพันธ์ขึ้นกับกำลังดันอาโนด U_a แล้วจะได้รูปของเส้นโค้งดังในรูป ๑๕๓ สำหรับหลอดแบบใหม่ที่สร้างด้วยความ

ปรานต์ถูกต้องตามเกณฑ์ที่วางไว้ ก็ย่อมจะทำให้การตกของความ
ชันแห่งกระแสไฟฟ้าชันมากกว่าที่แสดงอยู่ในรูป ๑๘๒ และ ๑๘๓ (เปรียบ
ดูเส้นโค้งลักษณะของรูป ๒๐๖ สำหรับ $\alpha = 0$)

หลอดแมกเนทรอนนี้อาจใช้เป็นหลอดท่วงกำลังและหลอดทำให้เกิด
การก่อก (ออสซิลเลเตอร์) ทำนองเดียวกัน กับหลอดที่มีกริดบังคับ
ส่วนเรขาคณิตการใช้หลอดแมกเนทรอน ที่มีผลในทาง ใช้การ นั้นตก อยู่ใน
เรื่องของการกำลังบังคับและอากรบังคับของอินคิตแคนซุ ขนาดใหญ่
มาจำกัดอยู่ในภายในเรขาคณิตมาก

4. หลอดแมกเนทรอนที่ใช้ฮาโนดเสียว (หลอด Habann)

การศึกษาค้นคว้าของหลอดแมกเนทรอนที่ใช้ฮาโนดเสียวและดีเยี่ยม



เป็นอย่างไรนั้น ได้แสดงไว้ในรูป

๑๘๔, ๑๘๕ และ ๑๘๖ แล้ว หลอด

จำพวกนี้จัดให้สนามแม่เหล็กมี

เส้นอยู่ในแนวขนาน กับ แกนของ

ฮาโนดดังในหลอดแมกเนทรอน

ธรรมดาเหมือนกัน รูปของ

หลอดที่มีการ ติด ต่อ ดังแสดงอยู่

ในรูป ๑๘๕ นั้น เป็นแบบธรรมดาที่

นิยมกัน เพราะอาจทำให้ สนาม

แม่เหล็ก ระหว่าง ยอด แม่เหล็ก

เข้ามาเชื่อมต่อกันได้ด้วยค่าใช้จ่าย

รูป ๑๘๔ แสดงส่วนภายในหลอด
แมกเนทรอนชนิดฮาโนดแบ่งเป็นสี่ส่วน
[หลอดฮาโนด] อยู่ภายในสนามแม่
เหล็กตามแนวของแกนกระบอกฮาโนด

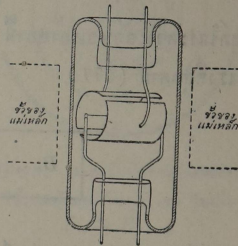
น้อย โดยที่จำนวนเดียวของอาโนดมิได้กำหนดความต่างกันในทาง
ฟิสิกส์ ฉะนั้นจึงขอจำกัดวงมาพิจารณาถึงหลอดแมกเนทรอนชนิด
อาโนดสองเสี้ยว

ก. วาล์วของอเล็กทรอน

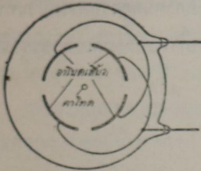
ที่เสี้ยวคู่หนึ่งของอาโนด เราต่อกำดังดินไฟฟ้าอันกระทำด้วยพื้น
อยู่ใกล้หลอดเป็นจำนวนเท่า ๆ กัน (รูป ๑๕๗) หลอดแมกเนทรอนที่มี
อาโนดผ่าเป็นเสี้ยวนี้จะมีอาการเช่นเดียวกันกับหลอดแมกเนทรอนที่มี

อาโนดเป็นกระบอกล้อมเต็ม เส้น
กำลังไฟฟ้าของหลอดอาโนด
เสี้ยวหนึ่งเป็นแนวรัศมีเมื่อออก
ไปจากอาโนดเข้าไปสู่ไส้หลอด
เส้นที่ผ่านจุดอื่นมีกำลังไปเตน
เซียดเท่ากัน (Aquipoten =
vialinien) จะเป็นวงกลมค่อน
เช่นดริค ซึ่งมีค่าของไปเตน
เซียดในใจหระอย่างมาตราตั้ง
การวัด (รูป ๑๕๗) อเล็กทรอน

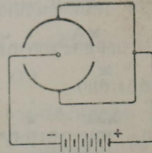
ที่ออกมาจากคาโทดจะบินเข้าไปถึงอาโนดหรือบินกลับคืนไปสัคาโทดอีก
อย่างไรนั้น ย่อมแล้วแต่ความแน่นของสนามแม่เหล็ก B_m ที่บังเกิดอยู่
ณที่นั้นจะเป็นอย่างไร



รูป ๑๕๕ แสดงส่วนประกอบภายใน
ของหลอดแมกเนทรอนที่มีอาโนดเสี้ยวอยู่
ในระหว่างขั้วของแม่เหล็กไฟฟ้า



รูป ๑๕๖ แสดงการติดตัวของ
อานอดภายในหลอดแมกเนทรอน



รูป ๑๕๗ แสดงวงจรของหลอดแมกเนท
รอนอานอดภายในเพื่อทำให้เกิดสนามไฟ
ฟ้าไปในทางรัศมี

เรตต์ในระหว่างลักษณะทั้งสองนี้ กำหนดตามความแน่นของสนามอันมี
ค่าแรงที่ต่ำตาม (171)

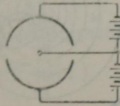
$$B_m \text{ krit} = \frac{6.72}{R} \cdot \sqrt{U_a} \quad \dots \quad (171)$$

เมื่อความแน่นสนามมีค่าต่ำกว่า $B_m < B_m \text{ krit}$ บรรดาอิเล็กตรอน
ทั้งนั้นจะเข้าไปถึงอานอด

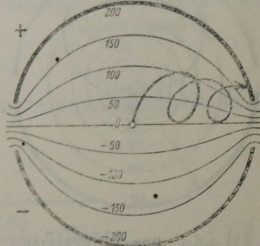
สำหรับ $B_m > B_m \text{ krit}$ อิเล็กตรอนจะโคจรกวาดวิถีบิน ออกมา
เป็นรูปดังแสดงอยู่ตามรูป ๓๘๘ แล้วกลับเข้าไปสู่คาโทดอีก ขณะ
กระแสไฟอานอดถูกกัก

กรณี $B_m \gg B_m \text{ krit}$ กระแสไฟอานอดถูกกักไม่ให้ไหลในทำนอง
เดียวกัน แต่มีคลื่นอยู่ในเรื่องวิถีบิน คืออิเล็กตรอนบินกวาดเป็นรูปอันมี

เส้นกำลังไฟฟ้าเข้าหากันที่ช่องระหว่างเสี้ยวอานาคิน ทำให้กำลังสนามแม่เหล็ก B_m มีมากขึ้น คราวนี้หาค่าของความโค้งตามสมการ (168) ก็ยังคงมากขึ้นด้วย โดยกำหนดค่าของความเร็วคั้น v_{x0} และ v_{y0} เท่ากับศูนย์ได้ลงไป เมื่อเป็นเช่นนี้สนามของวัตถุรูปไข่กลอยดูจะไม่ลดน้อยลงตามอาการรวมตัวเข้าหากันของเส้นไปเคนเซียล แต่ตรงกันข้ามคือหาค่า



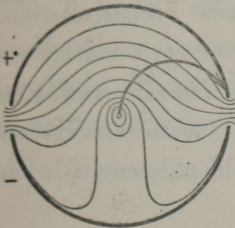
รูป ๒๐๐ แสดงวงจรของหลอดแมกเนตรอนที่มีอานาคินเซียล เพื่อสำหรับทำให้เกิดสนามไฟฟ้าในทางขวาง



รูป ๒๐๑ แสดงวิถีบินของอิเล็กตรอนในหลอดแมกเนตรอนอานาคินเซียลอยู่ภายใต้อิทธิพลของสนามไฟฟ้าทางขวาง $B_m > B_{m \text{ krit}}$

วัตถุรูปไข่กลอยดูจะทวมมากขึ้น ฉะนั้นแม้ว่า $B_m > B_{m \text{ krit}}$ ก็ตาม อิเล็กตรอนก็ยังมีแนวโน้มเข้าไปถึงเสี้ยวอานาคินเซียลเป็นวงจนได้ การที่กระแสไฟฟ้าในโคจรถูกกั้นนั้นคงจะเป็นได้เมื่อ $B_m \gg B_{m \text{ krit}}$ อาการทวมนั้นยังคงขึ้นกับความกว้างช่องระหว่างเสี้ยวอานาคินเซียลด้วย

แยกทางหนึ่งออกนอกแนวเส้นไปแทนขีด และ อีกเดกตรอน นั้น บิน เข้า ไปสู่



$$\Delta U_2 = 0.4 U_2; B_m < B$$

รูป ๒๐๓ แสดงวิถีบินของอิเล็กตรอนที่อยู่ในสนามไฟฟ้าผลัพธ์อันเกิดจากวงจรของรูป ๒๐๒ ในเมื่อ

$$B_m < B_{m \text{ krit}}$$

ขอบของเสี้ยวอาโนดลบ สำหรับการพิจารณาถึงเส้นโค้งลักษณะสถิต (Static characteristic curve) ซึ่งสำคัญที่สุดน้อยที่เสี้ยวซึ่งมีกำลังไฟฟ้าน้อยกว่า แต่แสดงว่ามีกระแสไฟผ่านมากกว่า อาการเช่นนี้แสดงว่า บังเกิดมีเส้นลักษณะลบ (Negative characteristic curve) ซึ่งสามารถ

จะทำให้เกิดมีอาการเครื่อง กดยกไฟฟ้าขึ้นได้ ดังที่เรียกว่า Habann-generator

เมื่อทำให้ $B_m > B_{m \text{ krit}}$

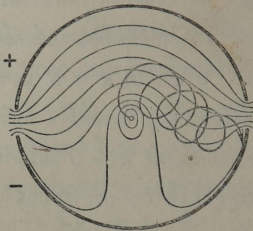
วิถีบินของอิเล็กตรอนที่วาดเป็นรูปไซ

คดอยจะคงอยู่ภายในสนามวงรัศมีรอบคาโทดดังในรูป ๒๐๕ เพราะฉะนั้นกระแสไฟอาโนดจึงถูกกักมิให้เข้าไปถึงเสี้ยวทองสอง ของอาโนดได้

๖. เส้นโค้งลักษณะ

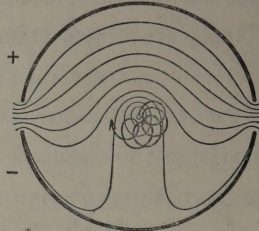
อาการภายในของหลอดซึ่งแสดงต่อไปนี้ แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ของกระแสไฟเสี้ยวอาโนดขึ้นอยู่กับกำลังดันและความแน่นของ สนามแม่เหล็ก ซึ่งเส้นโค้งลักษณะนี้เป็นเส้นโค้งลักษณะสถิตและวัดมาจากกระแสไฟตรง แม้ว่าเส้นโค้งลักษณะสถิตก็ยังไม่เป็นเครื่องคดขึ้นได้

ขีดขาด สำหรับการที่จะทำให้เกิดอาการกลดของไฟฟ้าขึ้นได้ในทุก ๆ ลักษณะก็ตาม แต่ก็นับว่าเป็นเครื่องแสดงให้เห็นภาพแห่งอาการของหลอดชนิดนี้ได้อย่างดี



$$\Delta U_a = 0,4 U_a; B_m = 2 B_{krit}$$

รูป ๒๐๔ แสดงวิถีบินของอิเล็กตรอนเมื่อ $B_m = 2 \cdot B_{krit}$



$$\Delta U_a = 0,4 U_a; B_m \gg B_{krit}$$

รูป ๒๐๕ แสดงวิถีบินของอิเล็กตรอนเมื่อ $B_m \gg B_{krit}$

ในขั้นแรกนี้เราจะขอพิจารณาหลอดแมกเนตรอนที่มีอาโนดเป็นเดี่ยว เดิม่อนอย่างหลอดแมกเนตรอนที่มีอาโนดเต็มเป็นอันเดียว คือว่าต่อเดี่ยวอาโนดทั้งสองเดี่ยวนั้นให้ถึงกัน และต่อกำลังดันไฟฟ้าที่เรียกว่ากำลังดันอาโนดประจำรวมกัน ดังแสดงอยู่ในรูป ๑๙๗ คราวนี้ทำให้ความแน่นสนามแม่เหล็ก B_m เปลี่ยนค่าไปและทำการวัดผลรวมของกระแสไฟอาโนดทั้งสอง $I_{a1} + I_{a2}$ ได้ ก็จะได้ความสัมพันธ์ของกระแสไฟอาโนดกับความแน่นสนามแม่เหล็ก ดังในรูป ๒๐๖ เมื่อความแน่นสนาม

แม่เหล็กทวีน กระแสไฟอานิต $I_{a_1} + I_{a_2}$ จะลดน้อยลง สำหรับความ
 ย่นสั้นนามแม่เหล็ก $B_m \text{ krit}$ (เส้นโค้งสำหรับ $\alpha = 0^\circ$) นั้น กระแส
 ไฟตกค้างยังมีมาก คือว่ามี $B_m \text{ krit} = 280$ เกาส์ และจากนี้ต่อไป
 กระแสไฟลดน้อยลงเรื่อยไปจนเป็นศูนย์ ความชันแห่งการตกของกระ
 แสไฟอานิตในขณะอยู่โดยแท้จริงกับมุมฉาก α อันเป็นมุมที่สั้นนามแม่เหล็ก
 กระทำอยู่กับแกนของหลอดแม่เหล็กทวีน สำหรับมุม $\alpha = 5^\circ$ นั้นจะ
 ได้รูปของเส้นโค้งแสดงด้วยเส้นขีด ๆ ดังในรูป ๒๐๖ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า
 มีส่วนเดียวอาการในความชันผิดกันกับสำหรับเส้นโค้ง $\alpha = 0^\circ$ นั้นมาก
 มาย ในทางใช้การแล้วก็ถือว่า การจัดวางหลอดให้กระทำอาการกับสั้นนาม
 แม่เหล็กและจัดให้มีห้องว่างอันมีน้ำเสมอเท่ากับหลอดเพื่อให้เป็นท่อเลค
 ทรอนเหไปมาได้มีนัยสำคัญมาก

คราวนี้ทำให้ความย่นสั้นนามแม่เหล็ก B_m มากกว่าจำนวน $B_m \text{ krit}$
 ดังตัวอย่างทำให้ $B_m = B_m \text{ krit}$ ($= 560$ เกาส์เต็ม) แล้ววัดกระแสไฟ
 อานิตตามวงไฟที่แสดงในรูป ๒๐๖ เมื่อใช้กำลังดันอานิต U_a ($= 500$
 โวลต์) ประจำ ได้ค่าของกระแสไฟในเดียวอานิตเป็น I_{a_1} และ I_{a_2}
 อันสัมพันธ์กันอยู่กับกำลังดันในทางขวาง $\Delta U_{a_1} = -\Delta U_{a_2}$ แล้ว
 นำค่านี้มาเขียนเป็นเส้นโค้งจะได้ เป็นรูป ๒๐๗ ที่แสดงให้เห็นเส้นโค้ง
 ลักษณะ กำลังดันขวางทั้งคี่มีจำนวนเท่ากันทุก ๆ ชณะ หากแต่มี
 เครื่องหมายตรงข้ามกันเท่านั้น และค่อยทวีขึ้นตามลำดับ ไปจนถึง
 500 โวลต์ เมื่อ $-\Delta U_{a_2} = 500$ โวลต์ และ $+\Delta U_{a_1} = 500$

โวลต์ คือตรงกับกำลังดันที่จุด a ในรูป ๒๐๗ คือกำลังดันที่เดียว
 อาโนด 1 (เปรียบรูป ๒๐๒) $U_a - \Delta U_{a_1} = 500 - 500 = 0$ และกำลังดันที่เดียวอาโนด 2 $U_a = \Delta U_{a_2} = 500 + 500 = 1000$ โวลต์

กำลังดันขวางทั้งหมดที่กระทำอยู่ในระหว่างเส้นอาโนด คู่หนึ่งจะเป็น 1000 โวลต์ สำหรับกำลังดัน

$$\Delta U_{a_1} = \Delta U_{a_2} = 0$$

คือตรงจุด b ในรูป ๒๐๗ กระแสไฟสำหรับเส้นอาโนด ทั้งสองนั้น

ถูกกัก (I_{a_1} และ I_{a_2} ต่างก็เป็นศูนย์) ลักษณะเช่นนี้เป็นไปตาม

ทางเดินของอิเล็กตรอนที่แสดงไว้ในรูป ๑๘๘ เมื่อตัวกำลังดัน

ขวาง ($-\Delta U_{a_1} = \Delta U_{a_2}$) ขึ้น

เรื่อยไปตามลำดับ แล้วกระแสไฟ

ของเส้นอาโนดที่ตกตามเป็นถนนจะทะลุไปจนถึงจุดสูงสุด คือ

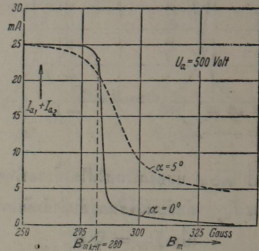
จุด d (รูป ๒๐๗) ส่วนเส้นอาโนดที่เป็นบวกไม่มีกระแสไฟจะจับได้โดย

ณ จุดกระแสไฟสูงสุด d ที่ก่อดำเนินค่าของกระแสไฟ $I_{a_1} = 23 \text{ mA}$ กำลัง

ดันที่เส้นอาโนด 1 $U_a - \Delta U_{a_1} = 500 - 256 = 244$ โวลต์ และ

กำลังดันที่เส้นอาโนด 2 $U_a + \Delta U_{a_1} = 500 + 256 = 756$ โวลต์

กระแสไฟ I_{a_2} ณ ที่นั้นเป็นจำนวนเต็มเพียง 2 mA , ซึ่งนับว่าเป็นค่าที่



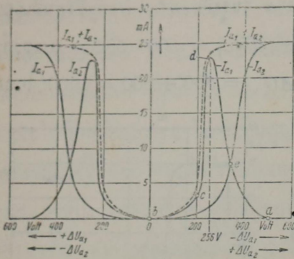
รูป ๒๐๖ แสดงกระแสไฟอาโนดทั้งเส้น

$I_{a_1} + I_{a_2}$ อันสัมพันธ์ขึ้นกับความ

แน่นสนามแม่เหล็ก B_m ในเมื่อกำลังดันอา

โนดของเส้นทั้งสอง เท่ากับ 500 โวลต์

(เปรียบเทียบกับรูป ๑๘๗)



รูป ๒๐๗) แสดงกระแสไฟในเลี้ยวไฮโดร I_{a_1}
และ I_{a_2} อันสัมพันธ์กันอยู่กับกำลังดันทางขวาง
เมื่อ $B_m = 2 B_{m_{krit}}$

(Negative Resistance) R_{n_1} อันเป็นความผิดระหว่างจุด c และ d คือ

$$R_{n_1} = \frac{-56}{20 \cdot 10^{-3}} = -2800 \Omega$$

ส่วนสภาพแห่งเส้นโค้งลักษณะลบที่ผ่านเกิดจากวิถีอิเล็กตรอนดังแสดง
อยู่ในรูป ๒๐๔ เป็นผู้กำหนดให้เกิด ครั้นเพิ่มกำลังดันขวางให้สูงขึ้น
ไปอีก (เกินกว่า 256 โวลตยิ่งขึ้นไป) แล้ววัดค่าแห่งความโค้งของวิถีกับ
แกว่งอิเล็กตรอนก็จะเพิ่มมากขึ้นโดยที่กำลังดันแม่เหล็กตรงบริเวณข้าง
ช่องว่างระหว่างเลี้ยวไฮโดรค่อนข้างแรงมาก (เปรียบเทียบกับรูป ๒๐๔ อัน
เกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ของ g กับ H_z ในสมการ 168) ซึ่งปรากฏ
ว่าจำนวนอิเล็กตรอนที่ถูกจับไว้ด้วยขอบของเลี้ยวไฮโดรบนนั้น ทวีต
ขึ้นเสมอตลอดมา

กล่าวน้อยเต็มที่ เส้นโค้ง

ลักษณะ ของ เลี้ยว ไฮโดร

1 ในระหว่างจุด b, c และ d

นั้น มีอาการ เอียง ตก ตัว

(Fallende Tendenz) ลง

เป็นด้วยเหตุที่ว่าแม่กาตั้งต้น

ขวาง ($- \Delta U_a$) จะลด

ต่ำลงก็ตามแต่กระแสไฟ I_{a_1}

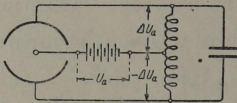
ทั้งสองขึ้น ความลาดของ

เส้นโค้งลักษณะนี้ หา

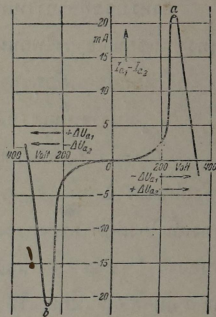
ค่าได้ โดย ความ ผิด ดิบ

(Negative Resistance) R_{n_1} อันเป็นความผิดระหว่างจุด c และ d คือ

ตรงจุด e (รูป ๒๐๗) จำนวนอิเล็กตรอนที่เสี้ยววาโนดบและเสี้ยววาโนดขวารับเอาเข้าไปมีจำนวนเท่ากัน ($I_{a1} = I_{a2}$) แต่ถ้ากำลังดันขวางเพิ่มมากขึ้นไป จำนวนอิเล็กตรอนก็เข้าไปสู่เสี้ยววาโนดขวามากกว่าและมากขึ้น ๆ ตามลำดับ จนถึงจุด a แสดงว่าอิเล็กตรอนเข้าไปสู่เสี้ยววาโนดขวาทงหมด



รูป ๒๐๘ แสดงวงจรชนิดนี้เป็นหลักของหลอด เฮนเนอร์เตอร์ (Habanngenerator)



รูป ๒๐๙ แสดงเส้นลักษณะข้อ

- ตก กระแสไฟฟ้าถึงต้น $I_{a1} - I_{a2} = f(\Delta U_{a1}, \Delta U_{a2})$ ที่ใช้สำหรับในการทำให้เกิด การ กลอด โดมมีเปลวไฟ

ตรงจุด a (รูป ๒๐๗) นั้นกำลังดันของเสี้ยววาโนด 1 เป็นศูนย์ และกำลังดันที่เสี้ยววาโนด 2 ณ ที่นั้นเป็น 1000 โวลต์ ซึ่งบรรดาอิเล็กตรอนเหล่านั้นมันเข้าไปสู่เสี้ยววาโนด 2 ทงสิ้น

เมื่อเปลี่ยนขั้วทางกำลังดันขวางให้เป็นอย่างอื่น แล้วก็จะบังเกิด
อาการข้ามอีกในทำนองเดียวกัน ในลักษณะเช่นนี้เส้นโค้งลักษณะ
ของเสียดทานได้อีก $[I_{a_2} = f(-\Delta U_{a_2})]$ แสดงให้เห็นว่ามี
อาการเอียง ถ้าหากอาการติดต่อกันของอาโนดสองเสียดทานเหมือนกันแล้ว
รูปร่างของเส้นโค้งลักษณะจะเป็นอย่างเดียวกัน

ถ้าห้บริบทจะทำให้เกิดอาการรกลอกทางไฟฟ้าขึ้นด้วยหลอดแมก
เนตรอนนของนำเอาวงไฟอันนับว่าเป็นพหุอย่างง่ายดังในรูป ๒๐๘ ที่เรียก
ว่า วงไฟออสซิลเลเตอร์ของยَابานัน ซึ่งอาศัยความต่างของกระแสไฟ
 $I_{a_1} - I_{a_2}$ มาใช้เป็นเครื่องทำให้เกิดอาการรกลอก เส้นโค้งลักษณะ
 $I_{a_1} - I_{a_2} = f(\Delta U_a)$ แสดงอยู่ในรูป ๒๐๘ นั้นหาได้จากการเอาเส้น
โค้งลักษณะ I_{a_1} กับ I_{a_2} จากรูป ๒๐๗ ไปทำการลบกัน รูปทางเดิน
ของเส้นโค้งผลต่างของกระแสไฟ $I_{a_1} - I_{a_2}$ อันสัมพันธ์กันอยู่กับกำลัง
ดันขวาง (รูป ๒๐๘) นั้นแสดงให้เห็นว่าระยะห่างความลาดตกกระหว่าง
จุด a กับจุด b นั้นมีอย่างไร

