๑๓๓ พ.ศ.๒.๗
1621
5363

ตำรา

ว่าด้วย

เทฆนิคฟรีเควนซี่สูง

โดย

นายนาวาโท ชลี สินธุโสภณ

เล่ม ๓

พิมพ์ครั้งที่ ๑

๒๔๘๓

พิมพ์ที่โรงพิมพ์

กรุงเทพบรรณาคาร

สี่กั๊กพระยาศรี พระนคร

ชุนวาทีทุรารักษ์ ผู้พิมพ์โฆษณา พ.ศ.๒๔๘๓

หอสมุดแห่งชาติ
๒๓ พ.ย. ๒๕๓๑
กรมศิลปากร
537
ช256ท

หอสมุดแห่งชาติ
17 ต.ค. 2543
กรมศิลปากร

ตำรา

ว่าด้วย

เทฆนิคฟรีเควนซี่สูง

โดย

นายนาวาโท ชลี สินธุโสภณ

เล่ม ๓

พิมพ์ครั้งที่ ๑



๒๔๘๓

เลขห้อง 214
537
เลขหมู่ ธ 2567
เลขทะเบียน

คำนำ

เนื่องจากตำราว่าด้วยการช่างอันเกี่ยวแก่ฟรีเควนซี่สูงหรือที่พูดกันโดยทั่ว ๆ ไปว่าตำราวิทยุนั้น ในราชนาวีไทยเรา ที่เป็นภาษาไทยยังมีอยู่น้อยไม่พอกับความต้องการ บรรดาผู้ที่มีหน้าที่สอนส่วนมากใช้ตำราภาษาต่างประเทศเป็นหลัก นักเรียนจำต้องเสียเวลาในการคัดลอกและทำการเขียนภาพประกอบอยู่เสมอ เพื่อหวังให้การเล่าเรียนของทหารได้ดำเนินไปโดยรวดเร็วตามที่ควรจะเป็น และการที่จะให้นักเรียนซื้อตำราภาษาต่างประเทศมาอ่านก็ไม่อาจจะทำได้ ทั้งนี้เนื่องจากผู้ศึกษายังมีความรู้ภาษาไม่พอเพียงประการหนึ่ง และราคาหนังสือที่เป็นภาษาต่างประเทศนั้นก็แพงมากอีกประการหนึ่ง เพื่อจะให้การศึกษาของทหารที่กองสัญญาณได้ก้าวหน้าไปรวดเร็วตามกาลสมัยนิเอง จึงได้พยายามเรียบเรียงตำราว่าด้วยเทฆนิคฟรีเควนซี่สูงขึ้นสำหรับเป็นหลักใช้ในการสอนนักเรียนจ่าสำรอง, จ่า และ นายทหาร ตามแต่พื้นความรู้ของผู้เรียนที่จะสามารถรับไว้ได้เพียงใด แต่ตำรานี้มีส่วนที่ต้องใช้วิชาคำนวณชั้นสูงร่วมอยู่ด้วย ความจำเป็นที่ต้องนำมาร่วมด้วยนี้ก็เพื่อหวังที่จะประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย จึงมิได้แบ่งชั้นของหนังสือออกไปเป็นประเภท ที่ใช้คำนวณชั้นสูง และไม่ใช้คำนวณชั้นสูง แยกเด็ดขาดออกจากกัน เมื่อเป็นเช่นนี้ผู้อ่านก็ควรจะเลือกฉะเพาะแต่ตอนที่อยู่ในความต้องการ อันเห็นว่าเหมาะแก่พื้นความรู้มาพิจารณาประกอบการ

ศึกษา ตอนใดที่เห็นว่าเกินกว่าพื้นความรู้เบื้องต้นที่จะหาความเข้าใจได้ ก็ยกเอาไว้เป็นเรื่องพิเศษสำหรับผู้ที่จะใช้ตอนนั้นเป็นประโยชน์ได้.

ในการเรียบเรียงตำราเล่มนี้ มีผู้ที่ข้าพเจ้าต้องขอกล่าวขอบพระคุณและขอบใจในความเอื้อเฟื้อสนับสนุนด้วยประการต่างๆ ไว้ด้วย คือ

๑. กรมเสนาธิการทหารเรือได้สนับสนุนส่งเสริมให้ทางการอนุมัติเงินสำหรับดำเนินการพิมพ์ตำรานี้ขึ้น

๒. นายนาวาโท สงบ จรูญพร รักษาราชการผู้บังคับกองสัญญาณทหารเรือ ได้ช่วยเหลือตรวจตรา แก้ไข ปรับปรุง ต้นฉบับตอนใดที่ไม่ดีให้ดียิ่งขึ้น และแก้ปัญหาเคล็อบคลุมต่าง ๆ ให้กระจ่างยิ่งขึ้น กับยังได้เอื้อเฟื้อสนับสนุนในทางกำลังใจให้มีมานะที่จะสร้างตำราชุดนี้ ทั้งยังให้ตำราใช้ประกอบการเรียบเรียงอีกด้วย

๓. นายเรือโท ม.ล. สนธยาย อิศรเสนา นายช่างกลกองสัญญาณทหารเรือ ได้เอื้อเฟื้อให้ยืมตำราต่าง ๆ ประกอบในการเรียบเรียงหลายเล่มอย่างหนึ่ง และได้ช่วยเหลือตรวจแก้ไขอีกอย่างหนึ่ง

๔. พระยานิพนธ์พจนาตถ์ และคุณสุเนตรา คงศิริ โรงพิมพ์กรุงเทพบรรณาคาร ได้กรุณาแนะนำในวิธีการพิมพ์ และช่วยเหลือเอาใจใส่ให้หนังสือนี้เป็นรูปเป็นร่างสำเร็จได้ในเวลาอันรวดเร็วอย่างยิ่ง

๕. นายชาญ เกตุสิงห์ ได้ใช้เวลานอกเวลาราชการพิมพ์ต้นร่างเป็นเวลาอันนานวันทั้งกลางวันและกลางคืน ถ้าจะคิดเวลาชั่วโมงกันแล้วนับว่าเป็นราคาสูงมาก

๖. จ.ต. บุญอุ้ม โชคชนะ และ จ.ต. พิศิษฏ์ หล่องกุล ได้ช่วยเขียนรูปเพื่อใช้ทำบล็อก

การที่รีบเร่งให้หนังสือเล่มนี้ออกพิมพ์โฆษณาสำหรับใช้เป็นหลักเล่าเรียน ก็โดยมีความประสงค์อย่างแรงกล้าที่จะให้ได้มีหนังสือเป็นตำหรับตำราพอเป็นแนวไปพลางก่อน ข้าพเจ้ารู้สึกปลาบปลื้มและยินดีเป็นอย่างที่สุดที่หนังสือนี้ได้คลอดออกมาจากโรงพิมพ์ และเนื่องด้วยเวลารีบร้อนและจำกัดอย่างที่สุด จึงไม่อาจจะสามารถหลีกเลี่ยงข้อบกพร่องทั้งหลายแหล่อันจะพึงเกิดขึ้นได้ทั้งทางระเบียบ การจัดวางรูปหนังสือ ความเรียบร้อยในการพิมพ์ และความคลาดเคลื่อนในอันจะพึงเกิดขึ้นได้ทั้งทางภาษาและทางเทฆนิค เพราะฉะนั้นเมื่อท่านผู้รู้คนใดได้พบข้อบกพร่องทั้งหลายแหล่ที่กล่าวข้างต้นนี้ ก็ขอได้โปรดกรุณาแนะนำและช่วยแก้ไขความบกพร่องอันไม่สมควรจะมีได้ในโอกาสหลังให้ข้าพเจ้าทราบไว้ด้วย จะขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง.

นายนาวาโท ชลี สินธุโสภณ

ต.ค. ๒๕๘๓

หนังสือที่ใช้ในการเรียบเรียง

1. L. S. Palmer : Wireless Principles and Practice.
   : Wireless Engineer.
2. Thomas : Theory and Design of Valve oscilliators.
3. Vilbig, : Lehrbuch der Hochfrequenztechnik.
4. Kammerloher : Hochfrequenz Technik.
5. Barkhansen : Lehrbuch der Elektronen – Röhren und ihrer teachnischen Anwendungen.
6. หนังสือรายเดือน Proceedings of the Institute of Radio Engineers บางเล่ม.
7. หนังสือรายเดือน The Wireless Engineer บางเล่ม.
8. บรรดาสมุดโน๊ตต่างๆ ที่ข้าพเจ้าได้รวบรวมไว้เมื่อท่านศาสตราจารย์ Fassbender และท่าน ดร. Zinke อาจารย์ผู้ช่วย ประจำแผนกเทฆนิคฟริเควนซี่สูง ที่โรงเรียนการช่างชั้นสูง (Technische Hochschule) ณกรุงเบอรลิน บรรยายเมื่อปี ๒๔๘๐-๘๑ และ ๘๒

ข้อความเบื้องต้น

เทคนิคว่าด้วยฟรีเควนซี่สูง ในสมัยปัจจุบันนี้ มีความหมายโดยทั่วไปว่า เป็นเทคนิคในส่วนหนึ่งของเทคนิคไฟฟ้า คือ หมายถึงการช่างอันว่าด้วยการนำอาการกลอกของไฟฟ้าที่กลอกไปมาด้วยจังหวะรวดเร็วอย่างยิ่งขึ้นมาใช้เป็นประโยชน์ ขอบเขตที่ใช้เป็นประโยชน์ส่วนใหญ่นั้น คือการส่งข่าวสารไปโดยไม่ต้องอาศัยสายลวดดังในวิธีการโทรเลข หรือ โทรศัพท์ ที่แล้วๆมา ในที่นี้เทคนิคฟรีเควนซี่สูงนั้นมิได้จำกัดเขตต์ลงไป แต่ฉะเพาะในเรื่องการทำให้เกิดมีอาการกลอกไฟฟ้าด้วยจังหวะรวดเร็ว หรือฉะแต่การแผ่กระจายและการรับอาการกลอกทางไฟฟ้าเท่านั้นไม่ แต่ยังมีความจำเป็นอันจะต้องพาดพิงไปถึงอาการต่างๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในการส่งคำพูด หรือเสียงดนตรีโดยใช้สายลวด หรือโดยไม่ใช้สายลวดประกอบกันด้วย

ถ้าจะพูดกันตามหลักฟิสิคส์อันว่าด้วยเทคนิคฟรีเควนซี่สูงแล้วก็คือการใช้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลงความแรงของสนาม แต่การที่จะให้เข้าใจอาการของเทคนิคฟรีเควนซี่สูงนี้ได้ ก็จำเป็นจะต้องมีความรู้ความเข้าใจในเรื่องสนามแม่เหล็กไฟฟ้าดีพอ จึงจะศึกษาเทคนิคว่าด้วยฟรีเควนซี่สูงให้เข้าใจได้แจ่มแจ้ง

โดยเหตุที่หนังสือเล่มนี้ไม่มีความจำนงแต่เพียงให้รู้จักอาการ และความสัมพันธ์ในส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องวิทยุอย่างเผินๆ เท่านั้น

ยังมีความจำนงที่จะให้ได้รู้ถึงหลักแห่งทางใช้การว่า ผู้รับสนามไฟฟ้า อันได้แก่ คอนเดนเซอร์ และผู้รับสนามแม่เหล็กอันได้แก่ขดลวด และเมื่อสิ่งทั้งสองนี้ทำงานร่วมกันแล้ว จะเกิดเป็นผู้ก่อให้เกิดอาการกลอกทางแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นภายในวงจรอันเรียกว่า ผู้รับสนาม แม่เหล็กไฟฟ้าเป็นต้น

แต่ในสมัยนี้ความก้าวหน้าในทางการสร้างหลอดสูญญากาศไปถึงขีดที่นับว่าใกลมากแล้ว ถึงกับได้เกิดมีผู้เขียนเป็นตำหรับตำราประกอบกับการคำนวณได้ผลใกล้เคียง ทั้งในทางทฤษฎี และทางปฏิบัติรับกัน ฉะนั้นจึงได้นำเทฆนิค อันว่าด้วยหลอดสูญญากาศ มากล่าวไว้ยืดยาวพอสมควร แต่จะพูดกันตามจริงแล้ว ก็เป็นแต่เพียงหลักต่าง ๆ ที่ผู้จะนำหลอดไปใช้ควรรู้เท่านั้น หาได้กล่าวถึงการสร้างหลอดไม่ เพราะการสร้างหลอดสูญญากาศ หรือเรียกว่าหลอดอิเลคทรอน ซึ่งใช้ในการวิทยุนั้น เป็นเรื่องที่จะต้องศึกษาวิชาอันว่าด้วยเทฆนิคอื่น ๆ อีกหลายอย่างประกอยกัน และในเล่ม ๓ ของตำราชุดนี้ ก็ได้นำหลักแห่งการทำให้เกิดมีอาการกลอกขึ้นโดยใช้หลอดสูญญากาศที่เรียกว่า หลอดออสซิเลเตอร์ สามอิเลคโทรดไว้ด้วย ทั้งนี้เพื่อให้เหมาะกับความต้องการในการที่จะให้ผู้ศึกษาอันมีอาชีพในทางใช้เครื่องวิทยุได้เห็นประโยชน์ของการใช้หลอดสูญญากาศ หรือเรียกว่า หลอดอิเลคทรอนนั้นเสียในชั้นหนึ่งก่อน และในเล่ม ๔ ซึ่งกำลังพิมพ์อยู่ ณ บัดนี้ กล่าวถึงทฤษฎีของเครื่องทวีกำลังโดยใช้หลอดอิเลคทรอน ซึ่งนับว่าเป็นตอนที่ผู้มี

หน้าที่เกี่ยวข้องกับการใช้หลอดอิเลคทรอน ควรจะต้องรู้อย่างยิ่ง การใช้หลอดอิเลคทรอนในสมัยนี้ หาได้ใช้แต่ฉะเพาะในการสื่อสารทางวิทยุ, ในการขยายเสียง และในภาพยนตร์เสียงดังที่เราได้เห็นและได้ยินอยู่เสมอเท่านั้นไม่ ยังมีใช้ในเครื่องมือที่ใช้ในการเดินเรือ และการสำรวจแผนที่ทะเล และการบินใหญ่ทางทดลองอีกเป็นอันมาก ฉะนั้นสำหรับชาวเรือ อันมีหน้าที่เกี่ยวข้องอยู่กับเครื่องมือเครื่องใช้ที่ต้องใช้หลอดอิเลคทรอนแล้ว คงจะได้รับประโยชน์จากตอนที่ปรากฏในเล่มบ้างไม่มากก็น้อย ส่วนเล่มต่อ ๆ ไปจะเริ่มด้วยอะไร และสมควรจะจบลงเพียงใดนั้น ยังรับรองไม่ได้ แล้วแต่เวลาทางราชการ และโอกาสจะอำนวยให้ต่อไป ถ้าไม่มีอุปสรรคอันใดมาขัดขวาง ข้าพเจ้าจะพยายามดำเนินการเรียบเรียงตำราว่าด้วยเทฆนิคฟรีเควนซี่สูงนี้จนพอกับความต้องการของราชการ

สำหรับผู้ที่จะใช้ตำรานี้ประกอบในการสอนก็ดี ในการศึกษาด้วยตนเองก็ดี ข้าพเจ้าขอโอกาสแนะนำไว้สักเล็กน้อยว่า สิ่งใดที่กล่าวถึงวิชาในทางคำนวณก็ดี ในทางฟีสิคส์, วิทยาศาสตร, และแมคคานิคส์ก็ดี ผู้อ่านยังไม่ได้รับความสว่างพอ ขอได้โปรดค้นดูจากตำราที่ว่าด้วยการนั้นโดยฉะเพาะจึงจะได้ ความหนักใจของข้าพเจ้าในเรื่องไม่สามารถจะเขียนให้ผู้อ่านเข้าใจได้ทั่วกันนั้นมีอยู่ประดุจกับก้อนหินขนาดใหญ่วางอยู่บนอก ด้วยความไม่เกรงต่อคำติ หรือคำทักท้วงต่าง ๆ

ที่ไม่สามารถจะเลี่ยงได้นี้ จึงได้ขอถือโอกาสเบิดฉากให้ตำราออกมาปรากฏขึ้น ข้าพเจ้าขอวิงวอนท่านผู้รู้ทั้งหลายได้ช่วยกรุณาแก้ไขและแนะนำข้าพเจ้าอีกเป็นคำรบสอง เมื่อได้พบสิ่งที่ควรจะดัดแปลงแก้ไขอย่างใดให้ดีขึ้นได้แล้ว โปรดอย่ามีความเกรงใจในเรื่องจะแจ้งแก่ผู้เรียบเรียงเลย.

ผู้เรียบเรียง

สารบาญ

หน้า

คำนำ (ก)

ข้อความเบื้องต้น (ง)

ตอน ๑๐

หลอดออสซิเลเตอร์ สามอิเลคโทรดโทร์

๑) หลักแห่งการกะตุ้นกำลังในตนเอง ๓๖๓

๒) สูตรสำหรับการกะตุ้นกำลังในตนเอง ๓๖๕

๓) อาการตามสูตรการกะตุ้นกำลังในตนเอง ๓๗๐

ก. การถ่วงให้เสมอภาคทางแอมปลิจูด
(Amplitude balancing) ๓๗๒

ข. การถ่วงให้เสมอภาคทางเฟส(Phase balancing) ๓๗๖

ค. ตัวอย่างการคำนวณ ๓๘๒

๔) พฤติภาพสำหรับการกลอกติดต่อ ๓๘๖

ก. ออสซิเลเตอร์บังคับด้วยอาการแมคคานิคส์ ๓๘๗

ข. การบังคับฟรีเควนซี่โดยการกลอกทางแมคคานิคส์
ของแร่ควอร์ตซ์ (Piezoquarz) ๓๙๑

ค. วิธีเริ่มต้นกำลังโดยกำลังไฟฟ้า ๓๙๖

๕) วงจรกลอกที่มีหลอด ๓๙๗

ก. วงจรที่ได้รับกำลังป้อนกลับ ด้วยอาการชักนำของ
ขดลวดอินดักแตนซ์ ๓๙๗

หน้า

ข. วงจรที่ได้รับกำลังย้อนกลับด้วยการถ่ายกำลังผ่านแคแปซิตี้ ๔๒๖

ค. วงจรที่มีอินดัคแตนซ์ กับแคแปซิตี้ทำการย้อนถ่ายกำลัง ๔๔๐

๖) การจำกัดเขตต์กระแสไฟ ๔๕๑

ก. ออสซิเลเตอร์ย้อนกำลังกลับด้วยอินดัคแตนซ์ ๔๕๓

ข. ออสซิเลเตอร์ย้อนกำลังกลับด้วยแคแปซิตี้ ๔๖๐

ค. ออสซิเลเตอร์ย้อนกำลังกลับด้วยแคแปซิตี้อินดัคแตนซ์รวมกัน ๔๖๕

๗) ประสิทธิภาพของออสซิเลเตอร์ที่ใช้หลอด ๔๖๖

๘) แนวพิจารณาการใช้หลอดออสซิเลเตอร์ทางใช้การ ๔๗๖

ก. การแต่งริแอคชั้น ๔๗๗

ข. การเปลี่ยนขนาดยาวของคลื่นและลักษณะกระแสไฟสูงสุด ๔๗๙

ค. ออสซิเลเตอร์ที่ประสานถ่ายเข้ากับวงจรกระจายกำลัง (Ziehen) ๔๘๓

ง. ฮารโมนิคส ๔๙๒

๙) เครื่องส่งที่ใช้การถ่ายกำลังย้อนกลับสำหรับคลื่นสั้น ๔๙๖

ตอน ๑๐

หลอดออสซิเลเตอร์สามอิเลคโทรด

๑. หลักแห่งการกะตุ้นกำลังในตนเอง (Self – excitation).

ก่อนที่จะกล่าวอาการกลอกของหลอดสามอิเลคโทรด เพื่อทำเป็นตัวออสซิเลเตอร์ ใคร่จะขอนำหลักแห่งการกะตุ้นกำลังในตนเอง เพื่อใช้เป็นแนวส่งเสริมความเข้าใจอาการกลอกเสียขั้นหนึ่งก่อน

เครื่องทวีกำลัง (Amplifier) โดยใช้หลอดนั้น ปรากฏว่าทางภาคอาโนดของหลอดเป็นผู้ทำให้เกิดกำลังดันไฟสลับ u_a อันมีฟรีเควนซีอย่างเดียวกันกบฟรีเควนซีที่ยังไม่ถูกทวีกำลังให้สูงขึ้น คือฟรีเควนซีของกำลังดันไฟสลับ u_g ที่ป้อนเข้าทางกริดของหลอด ในขั้นแรกนี้ เราควรจะถือเสียว่า กำลังดันไฟสลับ u_g มีกำลังน้อยกว่ากำลังที่จะทำให้เกิดขึ้นด้วยการทวีกำลังของหลอดในฟรีเควนซีที่กำหนด แต่อันที่จริงหาเป็นเช่นนั้นไม่ เพราะการใช้หลอดอิเลคทรอนที่นับว่าสำคัญที่สุดนั้นอาศัยหลักโดยตรงที่ว่า " ไม่มีต้นกำเนิดของกระแสไฟสลับเป็นผู้ป้อนกำลังให้แก่หลอดเลย " ตัวหลอดอิเลคทรอนเองเป็นผู้ทำให้เกิดมีกระแสไฟสลับด้วยจำนวนฟรีเควนซีอย่างหนึ่งโดยเด็ดขาด และยังเป็นผู้รักษาความสม่ำเสมอของจำนวนฟรีเควนซีเองด้วย ยิ่งกว่านั้นยังจักต้องมีคุณสมบัติในการสามารถแต่งจำนวนฟรีเควนซีได้ด้วยความ

สะดวกง่ายดายอีก ด้วยประการฉะนี้หลอดอิเลคทรอนจึงมีคุณสมบัติสามารถทำให้เกิดมีกระแสไฟสลับฟรีเควนซีสูง ด้วยจำนวนฟรีเควนซีถึง 100 ล้านไซเกิลได้โดยประจำสม่ำเสมอ ซึ่งเมื่อสมัยก่อนนับว่าทำได้ด้วยความยากลำบากเป็นอย่างยิ่ง

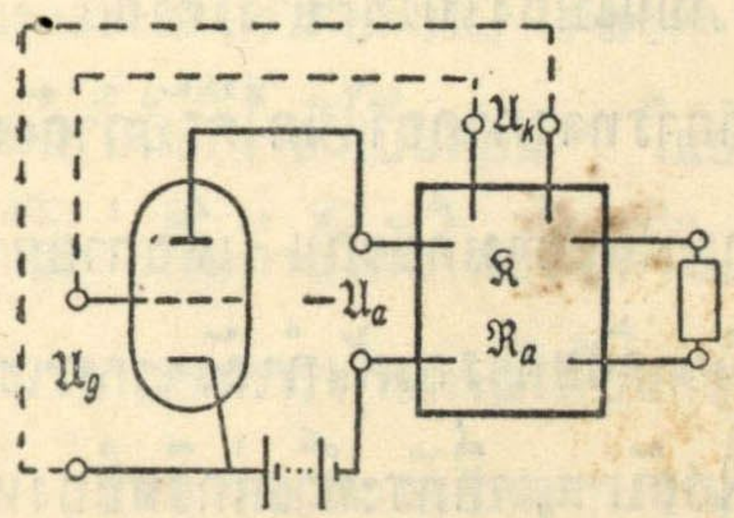
การกะตุ้นกำลังในตนเองของกระแสไฟสลับด้วยฟรีเควนซีที่ต้องการนี้ ตกอยู่ในหลักแห่งการทำให้เกิดมีการกลอกนั่นเอง เครื่องบังคับให้มีอาการบรรจบตามระยะเวลาที่สามารถทำงานทวีกำลัง หรือทำให้เกิดมีกำลังทำงานบรรจบตามระยะเวลา โดยอาการกระทำให้ปรากฏผลขึ้นในตนเอง แล้วใช้เป็นผู้บังคับคิดถอยหลังกลับไปจากกำลังทำงานที่ถูกทวีแล้วก็ได้ อาการเดินของเครื่องจักรไอน้ำไปมา ทำอาการบีดเบือนเป็นอาการบรรจบวนเวียนซ้ำอยู่ หรือกระดิ่งไฟฟ้าที่ใช้อยู่ตามบ้าน อันมีเครื่องตัดและต่อกระแสไฟให้ทำงานได้โดยลำพังตนเองเหล่านี้ นับว่าเป็นตัวอย่างที่เรารู้จักกันอยู่แพร่หลาย ในทำนองเดียวกัน หลอดอิเลคทรอนก็ย่อมสามารถทำให้เกิดมีกระแสไฟสลับไปมาโดยอัตโนมัติได้ และรักษาให้คงมีอาการอันนี้อยู่ เพื่อไปใช้ทำการบังคับกริดของหลอดด้วยกำลังดันไฟสลับ u_g โดยการประกอบวงจรให้ส่งบ้อนกำลังกลับออกมาจากภาคอาโนดให้แก่กริดแล้วทำการทวีกำลังให้สูงขึ้น, ซึ่งอาการอันนี้ ขอบัญญัติให้เรียกว่า “ การถ่ายกำลังบ้อนกลับ ” (Rückkopplung) อันเป็นอาการตรงข้ามกับการกะตุ้นกำลังจากภายนอก (Separate Excitation) ในเมื่อพูดถึงอาการกะตุ้นกำลังใน

ตนเอง (Self-excitation) ของเครื่องทวีกำลัง (Amplifier) ถ้าหากว่ามีกำลังดันไฟสลับบังเกิดขึ้นแก่กริดของหลอดด้วยอาการของการป้อนกำลังกลับ เท่ากับจำนวนที่จะต้องมีเพื่อให้เกิดกระแสไฟสลับที่อาโนดโดยการกะตุ้นจากกำลังภายนอกแล้วก็เป็นที่เห็นได้ชัดว่า การกลอกอันบังเกิดมีขึ้นจากวิธีกะตุ้นกำลังในตนเองนี้สามารถรักษาให้คงดำรงมีอยู่ได้เช่นเดียวกันกับการกลอกที่บังเกิดขึ้นจากวิธีกะตุ้นกำลังจากภายนอก ปัญหามีอยู่แต่เพียงว่า เป็นจริงตามที่ว่านี้ หรือเป็นโดยการกะตุ้นในตนเองแห่งการกลอกยังคงดำรงอยู่ หรือว่าเป็นด้วยอิทธิพลแห่งการกระทำต่อกันในระหว่างอาการกลอกที่เป็นผู้ทำกับอาการกลอกที่เป็นผู้ถูกกระทำอย่างใดอย่างหนึ่ง อันจะมีความเอนเอียงไปในเชิงเพื่อเปลี่ยนแปลงสภาพนั้นไป ปัญหาอีกอย่างหนึ่งก็คือว่า การกลอกนี้เกิดขึ้นจากในตัวเองหรือ หรือว่าในชั้นแรกมิได้มีอาการกลอกบังเกิดอยู่ก่อนเลย อาการอันหลังนี้จะแสดงออกให้เห็นเองว่า สามารถจะทำสำเร็จได้โดยปราศจากความลำบาก สภาพที่ไม่มีอาการกลอกเลยนั้นจะพลันหายไปในเมื่อได้ทำให้การประสานป้อนกำลังกลับชิดกันมากพอ คือหมายความว่าอาการกลอกนั้นจะไม่ดำรงอยู่ อาการอันนี้บังเกิดมีขึ้นโดยอัตโนมัติและปราศจากอาการกะทบหรือกรรโชคในการกลอกแต่อย่างใด ซึ่งในชั่วเวลาอันสั้น ๆ ก็กลอกตัวลงไปถึงแอมปลิจูดสุดท้าย อาการอันคล้ายคลึงกันนี้ก็คือลูกตุ้มนาฬิกา ซึ่งก่อนจะกลอกตัวแกว่งไปมาได้ย่อมต้องการกำลังมากะทบหรือผลักเสียก่อน แต่ครั้นเมื่อลูกตุ้มนั้นแกว่งแล้วก็คงจะกลอกไปมาดำรงอาการอยู่ (การกลอกที่กระด้าง

และการกลอกที่อ่อน) ยังมีอีกมากรายด้วยกันที่ไม่สามารถรักษาให้สภาพสุดท้ายดำรงคงอยู่ได้ ดังตัวอย่างในการกลอกด้วยแอมปลิจูดกำหนดแน่นอนอันหนึ่งแล้วก็หลุดหายไปทันทีทันใด และกลับมาเริ่มต้นกลอกไปใหม่อีก อาการเช่นนี้เรียกว่า "การกะตุ้นกำลังชั่วขณะหนึ่ง" หรือบังเกิดอาการกลอกชะนิดที่เรียกว่า "การกลอกอย่างพันเลือย" แต่ส่วนอาการอื่น ๆ นั้นเป็นตามแบบเส้นโค้งไซนุและอยู่ในชะนิดที่เปลี่ยนจากสภาพอย่างหนึ่งและกลับมาสู่สภาพเดิมอีก การเปลี่ยนแปลงในจำนวนฟรีเควนซี่โดยไม่สม่ำเสมอติดต่อกันก็เหมือนกัน คือมีการกระโจนเปลี่ยนทางของอาการกลอกโดยฉับพลันไปสู่สภาพอื่น ด้วยการเปลี่ยนแปลงอย่างติดต่อสม่ำเสมอโดยแท้ ของข้อกำหนดในการทดลองที่ปรากฏขึ้นเรียกว่า ปรากฏการณ์ของทซีเฮน (Zieherscheinung) นอกจากที่กล่าวแล้วนี้ยังมีอาการกลอกที่ไม่นึกไม่ฝันบังเกิดขึ้นอีกอย่างหนึ่ง ส่วนมากอยู่ในเขตต์ฟรีเควนซี่สูงมาก อาการกลอกประเภทนี้เรียกว่า "การกลอกป่า (Wilde Schwingungen)" เป็นอาการที่ทำให้สภาพซึ่งต้องการเปลี่ยนแปลงไปเป็นอย่างอื่น สำหรับหลอดขนาดใหญ่ ได้แก่หลอดส่งเป็นต้น อาการที่กล่าวนี้เป็นต้นเหตุทำลายหลอดให้เสียได้ ถึงอย่างไรก็ดี บรรดารายต่าง ๆ ทั้งหลายแหล่ที่ได้กล่าวมาแล้วนี้ จะบังเกิดขึ้นก็ต่อเมื่ออยู่ภายใต้ข้อกำหนดพิเศษเท่านั้น พูดกันตามทางใช้การแล้ว ก็เป็นแต่เพียงหลักที่จะต้องเอาใจใส่ให้รู้ไว้เพื่อจะได้หลีกเลี่ยงมิให้บังเกิดขึ้นเท่านั้น อาการต่าง ๆ ที่กล่าวแล้วนี้จักได้หยิบยกขนพิจารณาในขั้นที่สองต่อไป.

๒ สูตรสำหรับการกะตุ้นกำลังในตนเอง

ปัญหาของการกะตุ้นกำลังในตนเอง (Self-excitation) โดยทั่วๆ ไป นับว่าเป็นปัญหาที่ค่อนข้างยากอยู่ แต่เมื่อเราได้วางแนวของข้อกำหนดอันเป็นหลักที่มองเห็นได้ง่ายเป็นเกณฑ์ไว้เสียก่อนแล้ว ก็ย่อมเป็นที่หวังได้ว่าคงจะทำความเข้าใจกันได้ไม่ลำบากนัก คือในชั้นนี้ต้องถือเสียว่าการกลอกอันบังเกิดขึ้นจากการกะตุ้นกำลังในตนเองนั้นมีรูปร่างเป็นอย่างเส้นโค้งไซนูอันคงรูปบริสุทธิ์ และอีกปัญหาหนึ่งก็คือความทรงตัวของการกลอกด้วยอาการสมดุลย์ต้องสามารถเป็นได้โดยแท้จริง ขั้นต่อไปก็คงตกอยู่แก่การกะตุ้นกำลังจากกำลังภายนอก ถ้ามีกำลังดันไฟสลับอันมีกำลังที่กำหนดแน่นอนแทนด้วย u_g ป้อนเข้าที่กริดของหลอด (รูป ๒๑๐) แล้วจะบังเกิดมีกำลังดันไฟสลับที่อาโนดซึ่งถูกทวีกำลังให้แรงขึ้นโดยคุณสมบัติแห่งการทวีกำลังของหลอดอิเลคทรอน ด้วยจำนวนอันอาจเขียนเป็นสมการได้



รูป ๒๑๐ แสดงแผนการติดต่อของการถ่ายกำลังป้อนกลับ

$$\boxed{u_a = -\mu u_g} \quad .. \quad .. \quad (172)$$

เมื่อ $\mu = \frac{u_a}{u_g}$ = "แฟคเตอร์การทวีกำลัง" เรียกตามภาษาอังกฤษ

ว่า "Amplification factor" การที่ใช้เครื่องหมายลบไว้ข้างหน้าด้วยนี้ก็โดยเหตุที่กำลังดันไฟสลับที่อาโนด u_a ในเมื่อมีการทวีกำลังด้วยหลอดนั้น มีเฟสตรงข้ามกันกับกำลังดันไฟสลับที่กริด u_g อย่างใกล้เคียงที่สุด ฉะนั้นตามปกติจึงนิยมใช้อัตราส่วนของการทวีกำลังจากหลอดอิเลคทรอน คือตัว μ นี้เป็นเครื่องหมายบวก และเวคเตอร์อันไม่มีหน่วยกำหนดขนาดนี้ มีความต่างเฟสอยู่เป็นมุมน้อยกว่า 90° ถ้าหากว่าไม่มุ่งถึงแต่การกะตุ้นกำลังในตนเอง โดยมิทำให้สภาพแห่งการกลอกเปลี่ยนแปลงไปแต่อย่างใดแล้ว ก็คงต้องการแต่เพียงจัดทำวงจรให้มีอาการทางภาคอาโนดได้รับกำลังดันถ่ายกำลังกลับ u_K อันมีแอมปลิจูดและเฟสอย่างเดียวกัน เพื่อถ่ายกำลังป้อนให้แก่กริดอีก ส่วนปัญหาอื่นๆ อันว่าด้วยการกะตุ้นกำลังจากภายนอกก็เป็นอันตกไป ฉะนั้นกำลังดันไฟสลับ u_g ที่กระทำแก่กริดของหลอดก็คงเป็นอยู่ดังเดิม ไม่ว่ากำลังดันไฟสลับ u_g นี้จะมีที่เกิดมาจากแห่งใด ตามธรรมดาที่นิยมกันในเรื่องวิธีกำหนดอาการติดต่อของวงจร ย่อมจะทำให้กำลังดันที่ได้รับจากกำลังดันอาโนด $-u_a$ เป็นกำลังดัน $u_K = u_g$ และเรียกว่าอาการถ่ายกำลังกลับ "Rückkopplung" หรือจะพูดให้แจ่มแจ้งก็เรียกว่า "แฟคเตอร์การถ่ายกำลังกลับ"

$$\mathfrak{K} = -\frac{u_g}{u_a} \quad \text{"แฟคเตอร์การถ่ายกำลังกลับ"} \quad .. \quad (173)$$

ตัว $\mathfrak{K}$ นี้เป็นเวคเตอร์ที่ไม่มีขนาดกำหนด คือเป็นแต่เพียงตัวแสดงอัตราส่วนของกำลังดันวงจรสี่ขั้ว (Four terminal) เท่านั้น ด้วยการกำหนด

ความสัมพันธ์ในวงจร จึงมีความจำเป็นจะต้องมีข้อกำหนดสำหรับสภาพ คงทว่า u_K ในสมการ (173) ต้องเท่ากันกับ u_g ในสมการ (172)

$$\mathfrak{R} = \frac{1}{\mu} \quad \text{หรือ} \quad \mathfrak{R} \cdot \mu = 1 \quad \text{(สูตรแห่งการกะตุ้นกำลังในตนเองโดยทั่วไป)} \quad .. \quad .. \quad .. \quad .. \quad .. \quad (174)$$

สำหรับการทวีกำลัง 10 เท่า คือ $\mu = 10$ นั้น จะมีค่าแห่งการถ่ายกำลังป้อนกลับอันจำเป็น $\mathfrak{R} = 0{,}1 = 10\%$ ในการทวีกำลังเป็น 100 เท่านั้น ค่าแห่งการถ่ายกำลังป้อนกลับแต่เพียง 1% ก็เป็นที่พอเพียง

ข้อกำหนดที่กล่าวใน (174) เป็นอันว่าใช้ได้โดยทั่วไป ตลอดจนในการทวีกำลังโดยใช้หลอดหลายหลอดต่อให้ทวีกำลังเป็นตอน ๆ ในอันดับกัน ภายใต้ความหมายของ $-u_a$ นี้ เป็นกำลังดันไฟสลับอาโนดที่กระทำแก่หลอด อันแยกสาขาออกมาจากอาการถ่ายกำลังป้อนกลับเพื่อทำให้เกิด u_g ในอาการกลับหลัง ในการทวีกำลังสูงมาก ๆ นั้น μ มีจำนวนเพียงพอสำหรับการกะตุ้นกำลังในตนเองเสียตั้งแต่เมื่อการถ่ายกำลังกลับ $\mathfrak{R}$ น้อย ๆ ซึ่งอาการนี้บังเกิดขึ้นโดยไม่ตั้งใจจะให้มีแต่ก็ผ่านมาทางแคแปซิตีตามธรรมชาติ หรือด้วยกำเหนิดกระแสไฟตรงร่วมกัน เพราะฉะนั้นจึงเป็นเครื่องแสดงให้เห็นชัดแล้วว่า เมื่อจะหลีกเลี่ยงการกะตุ้นกำลังในตนเองอันเกิดจากการประสานถ่ายกำลังป้อนกำลังกลับนี้จำเป็นต้องรักษาค่าของ $\mathfrak{R}$ ให้มีน้อยอยู่ในเขตต์ฟรีเควนซีที่กำหนดทั้งนี้เนื่องจากแฟคเตอร์การทวีกำลังของหลอด μ นั้นมีสูงมาก ฉะนั้นความจึงปรากฏว่า ค่าของ μ และค่าของ $\mathfrak{R}$ นี้ จะมีขนาดต่าง ๆ กันสำหรับฟรีเควนซีต่าง ๆ

คราวนี้ควรจะพิจารณากลับไปในอาการตรงข้าม คือว่า จะทำอย่างไรจึงจะใช้การกะตุ้นกำลังในตนเองให้ได้รับประโยชน์อย่างดีที่สามารถจะทำได้ และให้เป็นที่ไว้ใจได้ด้วย ตามปกติถือเกณฑ์เลือกเอาอัตราส่วนที่ง่ายที่สุดที่จะเป็นได้ คือหมายความว่า ใช้การทวีกำลังด้วยหลอดฉะเพาะหลอดเดียว และการถ่ายกำลังกลับจากภาคอาโนดของหลอดไปยังกริดก็คงใช้หลอดเดียวกันนั้นเอง

สำหรับการใช้หลอดเดียวดังว่านี้ ย่อมบังเกิดมีกระแสไฟสลับผะสมทับเข้าบนกระแสไฟตรง ฉะนั้นตราบใดที่เขตต์ทำงานของเส้นลักษณะยังคงอยู่ภายในเขตต์ที่ถือว่าเป็นเส้นตรงได้ และไม่มีกระแสไฟกริดไหลแล้ว ก็จะได้สมการแห่งการบังคับ (Control equation) เป็น

$$\mathfrak{S}_a = S\,(u_g + D\,u_a) \quad .. \quad .. \quad (175)$$

จากสมการข้างบนนี้ ประกอบกับความต้านภายนอกของวงจร จะได้สมการเป็นอีกอย่างหนึ่ง คือ

$$\mathfrak{R}_a = -\frac{u_a}{\mathfrak{S}_a} \quad (\text{และ } u_a = -\,\mathfrak{R}_a \cdot \mathfrak{S}_a) \quad .. \quad (176)$$

จากส่วนเหล่านี้ ทำให้หาค่าของแฟคเตอร์ทวีกำลังได้

$$\mu = -\frac{u_a}{u_g} = \frac{1}{D + \dfrac{1}{S\,\mathfrak{R}_a}} = \frac{1}{D} \cdot \frac{\mathfrak{R}_a}{R_i + \mathfrak{R}_a} \quad .. \quad (177)$$

ข้อกำหนดลักษณะใน (174) ที่จะคงทำให้มีการกลอกอันเกิดจากการกะตุ้นกำลังในตนเองดำรงสภาพอยู่นั้น ได้ค่าของแฟคเตอร์ถ่ายกำลังป้อนกลับเป็น

$$\mathfrak{F} = D + \frac{1}{S\mathfrak{R}_a} \quad (\text{สูตรการกะตุ้นกำลังในตนเองพิเศษ}) \quad .. \quad (178)$$

ในส่วนต่าง ๆ ของตัวประกอบในสมการ (178) นี้ มีจำนวนกำหนดตัวประจำคือ D และ S ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของหลอด $\mathfrak{S}$ และ $\mathfrak{S}_a$ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวงจร ตัวดัวรชกริฟฟุ D ของหลอดนี้ ตามทางใช้การปรากฏว่าขึ้นอยู่แก่ขนาดทางยืออเมตริ ของหลอดโดยฉะเพาะ แต่ส่วนความชัน S นั้น ยังขึ้นอยู่กับจุดทำงานอีกด้วย คือหมายความว่าขึ้นอยู่กับกำลังดันไฟตรง U_g และ U_a ถ้าแม้ว่าการกลอกเป็นอาการแรง จนไม่อาจถือว่าเส้นลักษณะเป็นเส้นตรงต่อไปได้แล้วุ ก็จะได้ $S = S_m$ คือความชันเฉลี่ยปานกลาง (S_m) อันอยู่ภายในเขตต์ที่การกลอกทำการบังคับอยู่ ความชัน S นี้ ยังขึ้นอยู่กับขนาดแห่งการบังคับอีกด้วย คือหมายความว่า ขึ้นอยู่กับแอมปลิจูด ของการกลอกด้วยกำลังกะต้นในตนเอง ตัวประจำของหลอด S และ D นี้ นับว่ามีมุมเฟสเป็นสูญได้ถึงเขตต์ ฟริเควนซี่ 10^6 ไซเกิล เพราะฉะนั้นการสำแดงผลในการบังคับ ของกระแสไฟอาโนด ด้วยกำลังดันที่กริด และที่อาโนด ตามที่แสดงความสัมพันธ์อยู่ใน (175) นั้น ในที่นี้จึงรับเอาเป็นเกณฑ์ทางใช้การว่าไม่มีความต่างเฟสด้วยเหมือนกัน แต่ในเขตต์ฟริเควนซี่สูงมาก ๆ ประมาณ 10^7 ไปนั้น ย่อมทำให้เวลาแห่งการเปลี่ยนแปลงรูปไฟฟ้าประจุห้วงว่างรู้สึกได้ และต่อไปอีก คือในเขตต์ฟริเควนซี่ 10^8 นั้น ระยะเวลาวง หรือเรียกว่าเวลาโคจรของอิเลคทรอนนั้น มีส่วนทำให้รู้สึกในอาการความต่างเฟสขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากสมการบังคับ (175) มีอาการล่าช้าของกระแสไฟบังคับ $\mathfrak{S}_a$ อันสัมพันธ์อยู่กับกำลังดันบังคับ u_g และ $D \cdot u_a$ บังเกิดขึ้น ดังนั้นจึงได้รับความต่างเฟสในความชัน S

เป็นบวก ส่วนในลักษณะอื่น ๆ นอกจากที่กล่าวนี้ ค่าของ S และ D นับว่าไม่มีความต่างเฟสร่วมอยู่เลย และจะมีขนาดเท่ากัน สำหรับทุก ๆ ฟรีเควนซี่ คือมีค่าเท่ากันกับค่าที่วัดหามาได้ด้วยกระแสไฟตรงโดยตลอด

ในอาการตรงข้ามกับที่กล่าวแล้ว คือ ขนาดของตัวประกอบในวงจร $\mathfrak{Z}$ แล่ะ $\mathfrak{R}_a$ นี้ ตามธรรมดามีมุมเฟสต่าง ๆ ตั้งแต่ 0 ไป และค่าทั้งสองนี้เปลี่ยนขนาด และมุมเฟสตามไปกับฟรีเควนซี่ แห่งการกลอก และเมื่อมีความสำคัญในปรากฏการณ์แห่งการกลอกแล้ว มักจะสำแดงอาการแรงเป็นพิเศษ ดังที่ปรากฏแก่บรรดาหลอดส่งทั้งหลาย ซึ่งตัวประกอบ สมการ $\mathfrak{Z}$ และ $\mathfrak{R}_a$ นี้ มิได้ขึ้นอยู่กับจุดทำงานบนเส้นลักษณะหรือขึ้นแก่แอมปลจูดการกลอกเลย ในเมื่อไม่พิจารณาถึงการอิ่มตัวของเหล็ก แฟคเตอร์ถ่ายกำลังกลับ $\mathfrak{Z}$ และความต้านอาโนด $\mathfrak{R}_a$ จะเปลี่ยนแปลงได้ก็แต่ฉะเพาะในเมื่อ ปรากฏว่ามีกระแสไฟกริด $\mathfrak{Z}_g$ ประการหนึ่ง และความต้านกริดภายใน $\mathfrak{R}_{gi} = \frac{u_g}{\mathfrak{Z}_g}$ ของหลอดไม่ใหญ่กว่าความต้านกริดภายนอกอีกต่อไปประการหนึ่ง ทั้งนี้เนื่องจากกระแสไฟกริดเป็นผู้เพิ่มเติมแอมปลิจูด อันเกิดจากความต้านทานเปลี่ยนแปลง อิทธิพลของกระแสไฟกริดจะสังเกตได้ชัดแจ้งในเมื่อปรากฏว่ามีสภาพเกินกำลังทำงานของหลอดบังเกิดขึ้นแล้ว จะทำให้บังเกิดมีอาการกลอกงอกงามยิ่งขึ้น

๓. อาการตามสูตรการกะต้นกำลังในตนเอง

สูตรการกะตุ้นกำลังในตนเอง (174) และ (178) ที่แล้วมานั้น มองเห็นเป็นของง่ายที่จะทำความเข้าใจได้ โดยปราศจากความลำบากจนเกิน

สมควร เพราะค่าของ $\mathfrak{K}$ และ μ ตออดจน $\mathfrak{K}_a$ เหล่านี้ ส่วนมาก
เป็นสิ่งที่คำนวณหาได้สำหรับกระแสไฟสลับ ที่กำหนดฟรีเควนซีให้แน่นอน
แต่ทว่าจำนวนฟรีเควนซีที่จะทำให้เกิดการกลอกกะต้นนี้ ในชั้นแรกไม่รู้ว่า
มีเท่าใด จะรู้แต่เพียงว่า ฟรีเควนซีทุก ๆ จำนวน อนุโลมตามค่า
ของ $\mathfrak{K}$ ที่แสดงอยู่ในสมการ (174) และ (178) และทำการกะตุ้นในตนเอง
ได้ แต่จะต้องไม่ลืมว่า ในชั้นแรกควรจะทดลองดูเสียให้ทั่วทุก ๆ ฟรี
เควนซี โดยเหตุที่ค่าของ $\mathfrak{K}$ และ $\mathfrak{K}_a$ นี้ เปลี่ยนแปลง ตามจำนวนฟรี
เควนซีไปอย่างรุนแรงอยู่บ่อย ๆ ยิ่งในเมื่อปรากฏอาการเป็นเรโซแนนซ์
ด้วยฟรีเควนซีที่กำหนดรู้แน่นั้น จะมีค่ากลายเป็นอย่างอื่นผิดไปจาก
ที่คาดว่า จะมีได้ในเขตต์ใกล้เคียง อันนี้นับว่าเป็นปัญหาที่ยากขึ้นอีก
ปัญหาหนึ่ง นอกจากนั้น เมื่อจะต้องการให้อาการกลอก ดำรงอยู่โดย
ไม่เปลี่ยนแปลง การสำแดงผลเป็นกำลังบังคับ โดยตัวแฟคเตอร์ $\mathfrak{K}$ นั้น
ไม่แต่เพียงจะต้องใหญ่พอแต่อย่างเดียว ยังจะต้องให้เป็นไปในอาการอัน
มีเฟสถูกต้องอีกด้วย ถ้าหากว่าการบังคับสำแดงผลกระทำก่อนหน้า
เกินไปหรือล่าช้าเกินไป เกือบจะทำให้การกลอกที่บังคับเกิดขึ้นในอาการ
เร็วขึ้น หรือช้าลง เมื่อเป็นเช่นนี้ จำนวนฟรีเควนซีก็จะเปลี่ยนค่าไป
พฤติภาพทางพีสิคส์ทั้งสองนี้คือ มีแอมปลิจูดถูกต้องประการหนึ่ง และ
เฟสถูกต้องอีกประการหนึ่ง ซึ่งตามทางคำนวณในสมการ (174) และ
(178) เป็นผู้แสดงอยู่ว่า $\mathfrak{K}$ และ μ ตลอดจน $\mathfrak{K}_a$ เป็นขนาดที่ได้จัดให้เข้าสู่
สภาพต้องกัน ในจำพวกที่หนึ่งคือ $\mathfrak{K}$ และ μ นี้ เป็นด้วยค่าอันแท้จริง
ตามตัวเลขและมุมเฟส หรือเป็นค่าที่หาได้ด้วยตัวเลขเรียล และอิมมายิน

นารี่ สมการอันแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดเลขจริง และขนาดของเลขคอมเปลกซ์นั้น มีค่าเท่ากันทั้งสองสมการ โดยที่ส่วนที่เป็นเรียลและอิมเมจินารี่ หรือส่วนที่เป็นเลขแท้และมมเฟส ต่างก็ต้องมีส่วนเท่ากันทั้งสองข้าง ความเท่ากันของจำนวนเลขแท้นี้ แสดงให้เห็นพฤติภาพว่า แอมปลิจูดแห่งการกลอก อันมีความเท่ากันในมุมเฟสประการหนึ่ง และจำนวนฟรี่เควนซี่แห่งการกลอกประจำคงที่อีกประการหนึ่ง ในชั้นแรกนั้นจำนวนฟรี่เควนซี่ ของการกลอกเกิดจากการกะตุ้นกำลังในตนเองยังไม่รู้ จะหาได้โดยใช้สูตร (174) และ (178) ตามลำดับ ความหมายในทางพีสิคส์ที่มีอยู่ภายในสูตรการกะตุ้นกำลังในตนเองนี้ ไม่เป็นเรื่องง่ายที่จะทำความเข้าใจได้ ฉะนั้นจึงใคร่จะขอกล่าวให้ละเอียดละออลงไปอีกสักหน่อย

ก) การถ่วงให้เสมอภาคทางแอมปลิจูด (Amplitude balancing) ในชั้นแรกนี้จำเป็นที่ผู้ศึกษาจะต้องมองเห็นเสมอว่า สูตรการกะตุ้นกำลังในตนเอง (174) และ (178) ตามลำดับนี้ มีข้อไขอยู่อย่างหนึ่งคือ วงจรภายนอกเป็นผู้กำหนดตัวถ่ายกำลังกลับ $\mathfrak{F}$ ให้มีค่าใหญ่พอดีที่จะทำให้การกลอกตรงกริดได้รับกำลังดันไฟสลับ u_g บังเกิดขึ้นอีก เพื่อดำรงรักษาให้อาการกลอกที่กล่าวนี้คงอยู่เรื่อยไป เมื่อเป็นเช่นนี้ก็ย่อมมองเห็นได้ทันทีว่า เมื่อค่าของ $\mathfrak{F}$ เปลี่ยนเป็นอย่างอื่นไปก็จะไม่สามารถบังเกิดมีอาการกลอกอันเสมอภาคคงที่อยู่ได้ ดังตัวอย่างที่เราสมมติว่าค่าของ $\mathfrak{F}$ มีน้อยกว่าที่จะได้จากสมการ (178) แล้วกำลังดันไฟสลับที่กริด u_g ก็จะเล็กลง และค่าของกระแสไฟและกำลังดัน

ไฟสลับ $\mathfrak{F}_a$ และ u_a นั้นก็จะมีค่าน้อยกว่าเกณฑ์อันจะพึงหาได้จาก (175) และ (176) อันเป็นสภาพสมดุลย์ เมื่อเป็นเช่นนั้น กำลังดันไฟสลับอันสำแดงแก่กริด u_g โดยการถ่ายกำลังตาม (173) ก็จะมีค่าน้อยลงอีก ฉะนั้นจึงทำให้ u_a เล็กลงตามไปด้วย การกลอกตัวไปมาในวงจรนี้จึงเสื่อมกำลังลดน้อยลงหมดไป ฉะนั้นสำหรับค่าของ $\mathfrak{F}$ ที่น้อยเกินไป จึงไม่อาจสามารถจะดำรงให้มีการกลอกทรงตัวอยู่ได้ ในทำนองตรงข้ามกับที่กล่าวแล้วคือ เมื่อทำให้ค่าของ $\mathfrak{F}$ ใหญ่กว่าค่าที่จะหาได้ตามสมการ (173) ก็ย่อมจะทำให้กำลังดันไฟสลับอันเป็นผู้บังคับอาการที่กริด คือ u_g ยิ่งมากขึ้นๆ การกลอกก็จะเจริญงอกงามยิ่งขึ้นเรื่อยๆ ไป จนไปถึงเขตต์บนของสมการ "Linear equation" อันเป็นผู้จำกัดมิให้การกลอกงอกงามขึ้นต่อไปอีก เขตต์จำกัดที่กล่าวนี้บัญหาข้อแรกตามทางใช้การถือเอาตอนเส้นลักษณะกระแสไฟอาโนดที่ไม่เป็นเส้นตรง อันเป็นผู้สำแดงผลในการทำให้ความชันเฉลี่ยปานกลาง S ภายในเขตต์แห่งการกลอกลดน้อยลง และเป็นผู้ห้ามมิให้อัตราส่วนการทวีของกระแสไฟทวีกำลัง $\mathfrak{S}_a$ ด้วยกำลังดันกริด u_g บังเกิดขึ้นได้อีก และบัญหาข้อที่สองคือการบังเกิดมีกระแสไฟกริด อันทำให้เกิดสภาพทำงานเกินกำลังลดทอนลงอย่างรุนแรง และสำแดงผลในการทำให้ $\mathfrak{R}_a$ หรือ $\mathfrak{F}$ ลดน้อยลง ความสำคัญอันพิเศษในที่นี้มีอยู่ว่า กำลังดันไฟสลับ u_g ที่บังเกิดขึ้นโดยการกะตุ้นจากกำลังภายนอกนั้น สามารถทำให้มีขนาดเล็กได้ตามความพอใจ ทั้งนี้เนื่องจากการทวีกำลังของหลอด μ ไม่มีค่าตายตัวที่เดียว เพราะเหตุว่าหลอดอิเลคทรอนสามารถ

ทวีกำลังดันไฟสลับด้วยอัตราส่วนถูกต้องอย่างเดียวกัน ดังนั้นจึงจะต้องมีการกลอกกำลังน้อยโดยปราศจากการรบกวนจากในตนเองปรากฏขึ้นแล้วกลอกตัวไปมาด้วยแอมปลิจูดใหญ่ขึ้นในทันทีทันใดที่ค่าของ $\mathfrak{K}$ ใหญ่กว่า $\frac{1}{\mu}$ เพราะฉะนั้นจึงอาจสรุปความลงได้ว่า

"สูตรการกะตุ้นกำลังในตนเอง (174) หรือ (178) นี้แสดงตัวถ่ายกำลังกลับ $\mathfrak{K}$ ด้วยเครื่องหมายแห่งความเสมอภาคกัน อันจำเป็นสำหรับให้เกิดมีการกลอกด้วยการกะตุ้นกำลังในตนเองอันทรงอยู่ ถ้าทำให้ค่าของ $\mathfrak{K}$ น้อยกว่า $\frac{1}{\mu}$ คือหมายความว่าน้อยกว่า $\left(D+\frac{1}{S\cdot\mathfrak{R}_a}\right)$ แล้ว จะไม่ทำให้การกลอกด้วยการกะตุ้นกำลังในตนเองคงมีอยู่ได้ แม้จะมีการกลอกขึ้นได้บ้างสักเล็กน้อยแต่ก็ทรุดหายไปหมด ถ้าทำให้ค่าของ $\mathfrak{K}$ ใหญ่กว่า $\frac{1}{\mu}$ คือหมายความว่าใหญ่กว่า $\left(D+\frac{1}{S\cdot\mathfrak{R}}\right)$ แล้วจะทำให้บังเกิดมีการกลอกขึ้นในตนเองอยู่เสมอ คือตามปกตินั้นจะมีการกลอกไปมาจนไปถึงเขตต์แอมปลิจูดสุดท้าย อันทำให้สูตรการกะตุ้นกำลังในตนเองแสดงเครื่องหมายแห่งความเสมอภาคกันใช้ได้อีก เพราะเหตุว่า ถ้าหากว่าทวีแอมปลิจูดให้สูงขึ้นต่อไปอีก ในที่สุดก็จะทำให้ตัวประจำของสูตรนั้นเปลี่ยนแปลงค่าไป" .. .. (8)

สำหรับหลอดที่มีความชัน S ใหญ่และตัวรับกริฟฟ์ D เล็ก กับมีวงจรที่มีความต้านสำแดงผลที่อาโนด $\mathfrak{R}_a$ สูงนั้น มีคุณสมบัติในการยอมตัวตามอาการกะตุ้นกำลังในตนเองโดยง่ายดายเป็นพิเศษ และควร

สังเกตไว้ด้วยว่า ความต้านภายในหลอดนั้นมีค่าเป็น $R_i = \frac{1}{S\,D}$ ฉะนั้น จึงสามารถเขียนสูตรการกะตุ้นกำลังในตนเองเป็น

$$\Re = D + \frac{1}{S\,\Re_a} \quad .. \quad .. \quad .. \quad (130)$$

$$\Re = D + \frac{D \cdot R_i}{\Re_a}$$

$$\Re = D \left(\cdot 1 + \frac{R_i}{\Re_a} \right)$$

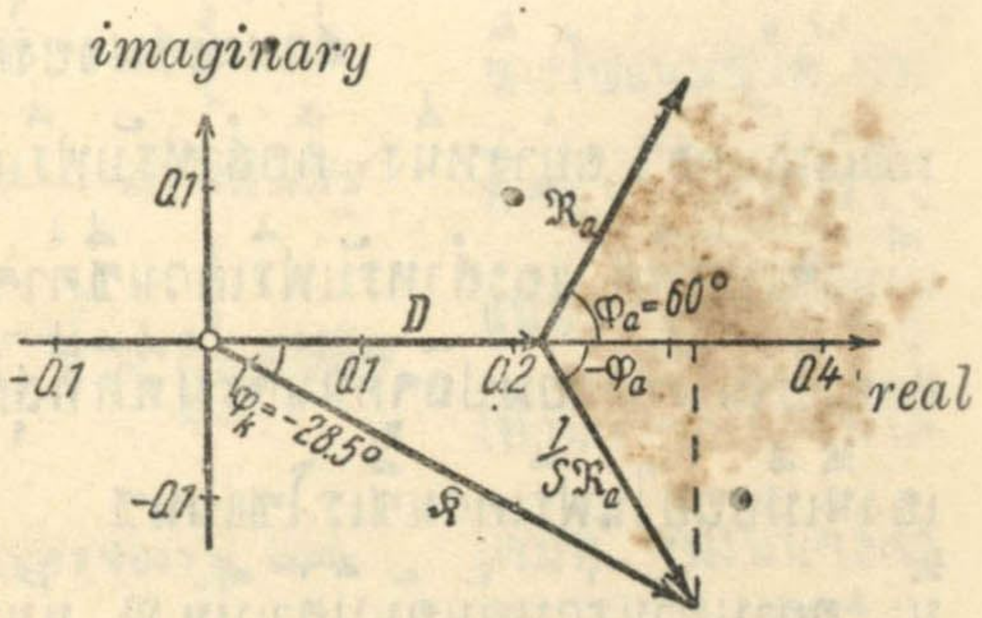
ตามนี้มองเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ค่าของตัวถ่ายกำลังกลับ $\Re$ นี้ อาศัยขนอยู่กับอัตราส่วนของ $\Re_a$ กับ R_i สำหรับ $\Re_a \gg R_i$ นี้ ก็จะได้ค่าของ $\Re = D$ เป็นที่พอเพียง ในเมื่อจะใช้ความต้านอันเหมาะกัน $|\Re_a| = R_i$ และเมื่อจะให้ปราศจากความต่างเฟสแล้ว จะต้องให้มีค่าของ $\Re = 2\,D$ ถ้าหากว่า $\Re_a$ มีค่าเล็กกว่า R_i เป็นอันมากแล้ว การกะตุ้นกำลังในตนเองจะบังเกิดมีขึ้นได้ก็ฉะเพาะแต่การประสานถ่ายกำลังกลับชิดมาก ๆ เท่านั้น

เมื่อประสงค์จะทำให้เกิดอาการกลอกในสภาพที่กำหนดแน่นอน คือหมายความว่าในจำนวนของ u_g และ u_a อันกำหนดโดยการกะตุ้นกำลังในตนเองแล้ว ก็เป็นอันว่าขนาดของตัวแฟคเตอร์ถ่ายกำลังกลับ $\Re = -\frac{u_g}{u_a}$ มีค่าตายตัว ในทำนองนี้จะต้องหาค่าของ $\Re$ จากจำนวนของกำลังดันไฟสลับ u_a และ u_g ที่ต้องการ ทั้งนี้หมายถึงเมื่อต้องการให้ทำงานด้วยแอมปลิจูดใหญ่ ๆ แต่คงไม่เกินเขตต์เส้นลักษณะที่เป็นเส้นตรงไป อีกประการหนึ่ง อาจบังเกิดมีอาการที่ไม่สามารถจะใช้การ

กะตุ้นกำลังในตนเองเป็นผลสำเร็จได้สำหรับแอมปลิจูดเล็ก ๆ เหมือนกัน คือเนื่องจากจุดทำงานของหลอดไปอยู่ในส่วนเส้นลักษณะที่เป็นลบ อันเป็นตำแหน่งที่กระแสไฟพักและความชันของเส้นลักษณะเป็นศูนย์โดยแท้ จึงไม่อาจสามารถทำให้มีอาการบังคับด้วยอาการของกระแสไฟ และการทวีกำลังสำหรับกำลังดันไฟสลับที่น้อย ๆ ได้ เมื่อเป็นเช่นนี้จึงไม่สามารถจะให้มีการกะตุ้นกำลังในตนเองได้ แต่ถ้าหากบังเกิดมีการกะตุ้นอย่างใดอย่างหนึ่ง มาทำให้บังเกิดกำลังดันกริดบวกขึ้น ก็ย่อมทำให้มีการบังคับด้วยกระแสไฟปรากฏตามมา เมื่อเป็นเช่นนี้ จึงสามารถทำให้เกิดมีการกลอกโดยการกะตุ้นกำลังในตนเองปรากฏอยู่ต่อไป

ข) การถ่วงให้เสมอภาคทางเฟส (Phase balancing) ตามความที่กล่าวมาแล้วปรากฏว่า การกลอกโดยอาการกะตุ้นกำลังในตนเองเมื่ออยู่นั้นจะบังเกิดขึ้นได้ฉะเพาะเมื่อกำลังดันกริดอันเกิดจากการถ่ายกำลังกลับไม่แต่เพียงแอมปลิจูดมีค่าถูกต้องแท้จริงอย่างเดียว ยังจะต้องให้เฟสมีค่าถูกต้องจริงด้วยเหมือนกัน สำหรับการกลอกอันมีรูปร่างเป็นอย่างเส้นโค้งไซน์ อาจแสดงค่าของแอมปลิจูดและมุมเฟสโดยจำนวนเชิงคอมเปลกซ์ หรือแสดงทางกราฟด้วยเวคเตอร์ หรือด้วยเส้นแสดงทิศได้ ในที่นี้ขอนำสูตรการกะตุ้นกำลังในตนเอง (178) มาแสดงตามวิธีเวคเตอร์ให้เห็น ดังปรากฏอยู่ตามรูป ๒๓๑ ตัวประจำของหลอด S และ D ณ ที่นี้ไม่มีความต่างเฟส ค่าของ D เขียนแทนตามแนวแกนเชิงจริง (Real number) ความต้านสำแดงผลภายนอกของวงจรคือ $\mathfrak{Z}_a$ นั้นมีมุมเฟส φ_a ระหว่าง 0 กับ $\pm 90^\circ$ มุม φ_a ที่เป็นบวก หมายความว่า

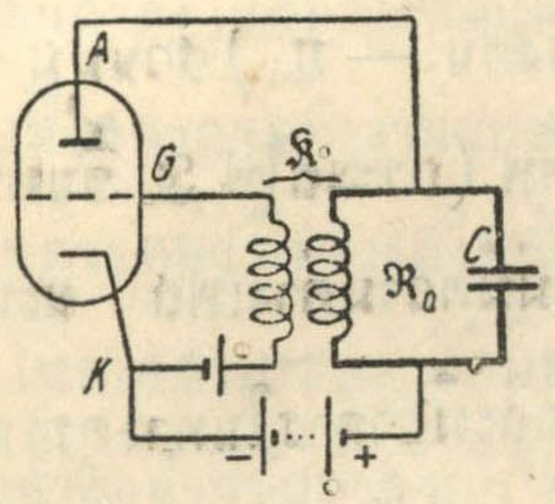
เป็นอาการอินดัคติฟ (กระแสไฟ $\mathfrak{S}_a$ ล้าหลังกำลังดัน $-\mathfrak{u}_a$) ส่วนมุม φ_a ที่เป็นลบ หมายความว่าความต้านเป็นแคแปซิติฟ (กระแสไฟ $\mathfrak{S}_a$ ขึ้นหน้ากำลังดัน $-\mathfrak{u}_a$) โดยเหตุที่ S เป็นค่าอันไม่มีความต่างเฟส ฉะนั้น $\frac{1}{S\mathfrak{R}_a}$ นี้ จึงมีมุมเฟสอย่างเดียวกันกับ $\frac{1}{\mathfrak{R}_a}$ และมีอาการในทางตรงกันข้ามกับ $\mathfrak{R}_a$ คือว่ามีมุมเป็น $-\varphi_a$ เวคเตอร์ $\mathfrak{K}$ นี้เท่ากับผลบวกทางยีออเมตรีของเวคเตอร์ D และ $\frac{1}{S\mathfrak{R}_a}$ เพราะฉะนั้น เวคเตอร์ $\mathfrak{K}$ นี้ จึงมีมุมเฟส $\varphi_{\mathfrak{K}}$ อยู่เสมอ เครื่องหมายข้างหน้ามุมนี้ตรงกันข้ามกับ φ_a และจำนวนเลขแอบโซลูทมีค่าน้อยกว่า φ_a สำหรับการทดอกด้วยการกะตุ้นกำลังในตนเองด้วยอาการนิ่ง ๆ นี้ย่อมมีความสัมพันธ์ของเฟส.



รูป ๒๑๑ แสดงเวคเตอร์ของสูตรการกะตุ้นกำลังในตนเอง

อันกำหนดระหว่าง $\mathfrak{K}$ และ $\mathfrak{R}_a$ อันแน่นอน เพราะฉะนั้นจึงอาจสรุปความลงได้ว่า

"มุมเฟสของ $\mathfrak{R}_a$ นี้มีค่าเป็นศูนย์ได้ก็ฉะเพาะแต่เมื่อมุมเฟสของ $\mathfrak{K}$ เป็นศูนย์ด้วย. และอาการถ่ายกำลังป้อนกลับไม่มีความต่างเฟส ฉะนั้นจึงปรากฏว่า วงจรกลอกขนาน (Parallel oscillatory circuit) อันมีอาการเป็นความต้านในวงจรอาโนดเป็น $\mathfrak{R}_a$ จะกะตุ้นให้เกิดเป็น



รูป ๒๑๒ แสดงวงจรกลอกอาโนดอันถ่ายกำลังบ้อนไปสู่กริด

ฟรีเควนซีเรโซแนนซ์ได้ถูกต้องแน่นอนก็ฉะเพาะแต่ในลักษณะที่กล่าวข้างต้นเท่านั้น" .. (181)

วงจรกลอกขนานดังที่แสดงอยู่ในรูป ๒๑๒ เหมาะที่จะใช้สำหรับการกะตุ้นกำลังในตนเองด้วยฟรีเควนซีที่กำหนดแน่นอนอันหนึ่งเป็นอย่างดี คือวงจรแบบนี้มีฟรีเควนซีเรโซแนนซ์สำหรับของตัวอันปราศจากความต่างเฟส ในส่วนผะสมของความต้านร่วมกัน (Combined resistance) อย่างหนึ่ง คือสำหรับฟรีเควนซีสูงๆ ความต้านจะมีอาการเป็นแคแปซิทีฟ และสำหรับฟรีเควนซีต่ำจะมีความต้านในอาการอินดัคทีฟ สำหรับในเรื่องแอมปลิจูดนั้นจะมีที่ดีที่สุด สำหรับการกะตุ้นกำลังในตนเองนี้เมื่ออยู่ในฟรีเควนซีเรโซแนนซ์ เพราะว่าสำหรับลักษณะที่กล่าวนั้น ความต้านร่วมกันอันมีค่าเป็น $\mathfrak{R}_a$ นั้นมีค่าใหญ่มากเป็นพิเศษ คือมีค่าใหญ่กว่าความต้านเป็นส่วนๆ คือ ความต้าน ωL หรือ $\frac{1}{\omega C}$ นั้นถึง $\mathfrak{g}$ เท่า $\mathfrak{g}$= ความคมของเรโซแนนซ์ ความคมของเรโซแนนซ์สำหรับวงจรอันดับ (Series circuit) ได้ค่าของ

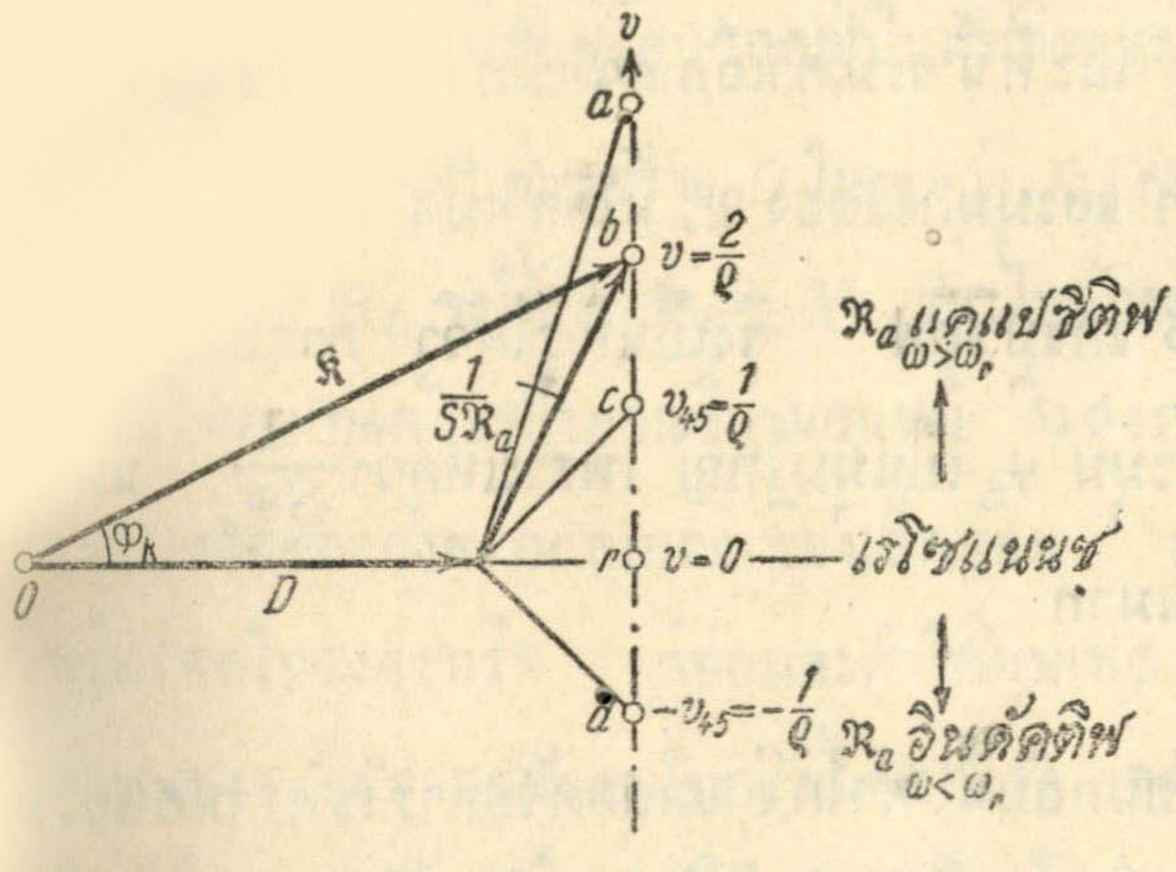
$$\mathfrak{g} = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{\omega_r L}{R} = \frac{1}{R\omega_r C}$$

และสำหรับวงจรขนานเป็นพวง (Parallel circuit) ได้ค่าของ

$$\mathfrak{g} = \frac{1}{G}\sqrt{\frac{C}{L}} = \frac{\omega_r C}{G} = \frac{R_P}{\omega_r L} = R_P\sqrt{\frac{C}{L}}$$

เมื่อ G เป็นความนำ (conductivity) และ R_p เป็นความต้านฯนาพเป็น
พวง]

เพราะฉะนั้นสำหรับฟรีเควนซีเรโซแนนซ์จึงสามารถทำให้เกิดได้
ด้วยตัวแฟคเตอร์ถ่ายกำลังกลับ ℛ เล็ก ๆ แต่ถึงกระนั้นก็ดี ถ้าหากว่า
ℛ ไม่ปราศจากความต่างเฟสแล้ว ก็ย่อมไม่อาจจะกะตุ้นให้เกิดฟรีเควนซีเรโซแนนซ์ได้ การที่จะทำให้มีเรโซแนนซ์สูงขึ้นเป็น ๆ เท่านี้จึงบังเกิดไม่ได้เต็มที่ ฉะนั้นจึงจำเป็นจะต้องให้มีค่าของแฟคเตอร์ถ่ายกำลังกลับใหญ่พอ



รูป ๒๑๓ แสดงอาการทางเวคเตอร์ของรูป ๒๑๒

รูป ๒๑๓ แสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ในส่วนที่กล่าวนี้มีอาการอย่างไร ตำบลยื่ออเมตริสำหรับจุดปลายของเวคเตอร์ $\frac{1}{S\Re_a}$ อันเป็นที่อยู่บนเวคเตอร์ D นั้น สัมพันธ์ขึ้นอยู่กับจำนวนฟรีเควนซีอันเขียนแทนด้วยเส้นฉากขีดจุด สำหรับค่าของ ℛ ที่ปราศจากความต่างเฟสนั้นทำการกะตุ้นด้วยฟรีเควนซีเรโซแนนซ์อย่างแน่นอน และอัตราผิดจากการเป็นเรโซแนนซ์ $v=O$ [ค่าของ v ตามธรรมดานั้น อาจเขียนเป็นสมการได้ดังนี้ คือ

$$v = \frac{\omega}{\omega_r} - \frac{\omega_r}{\omega} = \frac{\omega-\omega_r}{\omega_r} \cdot \frac{\omega+\omega_r}{\omega} \approx 2\left(\frac{\omega-\omega_r}{\omega_r}\right)$$

สำหรับ $\omega \gtrsim \omega_r$] ค่าของ D นี้คงต้องการแต่เพียงจาก O ไปถึง r ก็เป็นการพอเพียง ในรูปที่แสดงมุมเฟส φ_K ของ $\mathfrak{K}$ นี้ จุดปลายของเวคเตอร $\mathfrak{K}$ จะต้องอยู่ตรงตำบล b อันเป็นตำบลที่มีอัตราผิดจากเรโซแนนซ์ $v = \frac{2}{S}$ ฉะนั้นเมื่อ $S=50$ ก็จะได้ค่าของ v เป็น $\frac{2}{50} \cdot 100 = 4\,\%$ จำนวนจริงของ $\mathfrak{R}_a$ ณะที่นี้จะมีค่าเล็กกว่าเมื่อเป็นเรโซแนนซ์อยู่ $\sqrt{1+2^2} = 2{,}24$ เท่า และมุมเฟสของ $\mathfrak{R}_a$ นี้ได้ค่าเป็น $tg\,\varphi = -2$ คือว่า $\varphi_a = -63{,}5^\circ$ แคแปซิตีฟ จึงเป็นที่รู้ได้ว่า ค่าของมุม φ_K เป็นมุมที่บังคับเล็ก และมุม φ_a เป็นมุมใหญ่ เพราะเหตุว่า $\frac{1}{S\mathfrak{R}_a}$ นี้มีค่าน้อยกว่า D อยู่เป็นอันมาก

การถ่ายกำลังป้อนกลับนี้ ทำได้ง่ายที่สุดด้วยการใช้ทรานสฟอรมเมอร์ ให้ขดลวดภาคหนึ่งต่อเข้ากับกำลังดันไฟสลับอาโนด u_a และอีกภาคหนึ่งต่อเข้ากับกริดซึ่งจะเป็นผู้ทำให้เกิดมีกำลังดันไฟสลับ u_g ที่จำเป็นต้องใช้ขึ้น (ดูรูป ๒๑๒)

"แฟคเตอร์ถ่ายกำลังกลับ $\mathfrak{K}$ นี้ไม่ใช่อื่นไกลเลยคือเป็นตัวแสดงอัตราส่วนของกำลังดันไฟสลับ u_g / u_a ของทรานสฟอรมเมอร์นั่นเอง เพราะฉะนั้นจึงจำเป็นต้องเลือกใช้ขั้วต่อสายของทรานสฟอรมเมอร์ให้ถูกในลักษณะที่ว่า u_g มีเฟสตรงกันข้ามกับ u_a ถ้าต่อสายเข้าขั้วทรานสฟอรมเมอร์นี้ไม่ถูกจะไม่ได้รับอาการกะตุ้นกำลังในตนเอง คือหมายความว่า หลอดจะไม่มีอาการกลอก" .. .. .. (182)

ถ้าปรากฏว่าไม่มีกระแสไฟกริดไหลเลย ก็เป็นอันว่าทรานสฟอรมเมอร์ภาคขดลวดกริดนั้นไม่ออกแรงทำงาน โดยเหตุที่ขดลวดทรานสฟอรมเมอร์ที่อยู่ในภาคอาโนดไม่มีแต่ความต้านอินดัคติฟ $j\omega L$ อย่างเดียว ยังมีความต้านโอม R_L รวมอยู่ด้วย ฉะนั้นจึงได้แฟคเตอร์ถ่ายกำลังกลับ ซึ่ อันมีมุมเฟสบวกอยู่เป็นมุมที่แทนด้วย $tg\,\varphi_K = \frac{R_L}{\omega L}$ เท่าที่เป็นอยู่ส่วนมาก ค่าของ ωL ใหญ่กว่า R_L อย่างมากมาย สำหรับ $\omega L = 57\,R_L$ จะได้ค่า $\varphi_K = 1^\circ$ และในลักษณะที่ว่านี้จะมีการกะตุ้นกำลังในตนเองด้วยฟรีเควนซีจำนวนหนึ่งซึ่งสูงกว่าจำนวนฟรีเควนซีในธรรมชาติของวงจรกลอกเองเพียงเล็กน้อย ถ้าปรากฏว่ามีกระแสไฟกริดไหลในวงจรกริด ก็ย่อมจะทำให้มุมเฟส φ_K เป็นลบได้ โดยการกำหนดงานที่ทรานสฟอรมเมอร์นั้นออกแรง และในวงจรนี้จะมีการกะตุ้นกำลังในตนเองด้วยฟรีเควนซีต่ำลงมาเล็กน้อย และในเวลาเดียวกันนั้นกระแสไฟกริดที่ไหลผ่านขดลวดกริดอันมีทิศวนของขดลวดอันคิดเป็นจำนวนแอมแปร์ขดในอาการตรงกันข้าม ไม่ปรากฏผลในการลดทอนอินดักแตนซ์สำแดงผลของวงจรกลอกให้น้อยลง ฉะนั้นจำนวนฟรีเควนซีธรรมชาติของวงจรกลอกจะมีค่าสูงขึ้นโดยการทำให้ภาคเซกันดารี่ของทรานสฟอรมเมอร์ออกแรงทำงาน สำหรับทรานสฟอรมเมอร์ที่มีการถ่ายกำลังในระหว่างขดลวดไพรมารี่กับเซกันดารี่ชิดกันมาก (มีการกระจายเส้นสนามน้อย) ก็ย่อมจะชะนะต่ออิทธิพลของอาการอันกล่าวนี้ได้ คือหมายความ วงจรนั้นจะกะตุ้นกำลังให้เกิดมีการกลอกเมื่อมีกระแสไฟกริดด้วยจำนวนฟรีเควนซีสูงขึ้นกว่าฟรีเควนซีธรรมชาติของวงจร

ค) ตัวอย่างการคำนวณ ในทางใช้การปรากฏว่า การคำนวณหาลักษณะของการกะตุ้นกำลังในตนเองด้วยจำนวนเลขกำหนดเป็นราย ๆ ไปนั้นปฏิบัติกันน้อยเต็มที เพราะการวัดหาค่าต่าง ๆ เพื่อการคำนวณโดยต้องมีตัวประจำสำหรับใช้เป็นหลักนั้นเป็นเรื่องทำให้ยากขึ้น และเปลืองเวลามากกว่าที่จะทำการทดลองเอาโดยตรง แล้วสังเกตอาการของการกะตุ้นกำลังในตนเองว่า ปรากฏการณ์ในรายหนึ่ง ๆ ที่บังเกิดขึ้นอย่างหน้าสนใจนั้นเป็นอย่างไร แต่ก็มิใช่ว่าการคำนวณนั้นจะไร้ประโยชน์หรือเอาหลักไม่ได้ การคำนวณนี้มีค่าถูกต้องอยู่ภายในเขตต์จำกัดอันแสดงผลพอแลกกัน คือตราบใดที่การคำนวณยังสามารถทำได้สั้น และเป็นสูตรหรือสมการที่มองเห็นได้ง่าย ก็นับว่าให้ประโยชน์มาก ทั้งนี้เพราะความสัมพันธ์ในอาการทางคำนวณนั้น เป็นเครื่องช่วยให้มองเห็นซึ้งลงไปถึงอาการต่าง ๆ ในเชิงอาการทางแมคคานิคอีกด้วย และยิ่งกว่านั้นยังแสดงให้เห็นความเกี่ยวข้องอาศัยกันในระหว่างขนาดของส่วนประกอบต่าง ๆ ในวงจรได้เป็นอย่างดี และถ้าจำนวนค่าตัวเลขของส่วนประกอบเหล่านี้มิได้กำหนดโดยการวัดมาตายตัวแล้ว ก็ยิ่งได้รับประโยชน์อย่างมากมาย ฉะนั้นจึงใคร่จะนำตัวอย่างของวงจรอันประกอบด้วยทรานสฟอรมเมอร์ต่อเป็นวงจรกลอกขนานดังแสดงอยู่ในรูป ๒๑๒ สำหรับลักษณะที่ง่ายที่สุดที่จะทำการคำนวณมาเป็นตัวอย่าง คือในลักษณะที่อาจตัดเอากระแสไฟกริดออกจากการพิจารณาเสียได้ จึงสามารถแสดงสมการความสัมพันธ์กันเป็น

$$\Re = \frac{\mathfrak{M}}{\Re_L} \quad \text{และ} \quad \Re_a = \Re_L \parallel \Re_C = \frac{\Re_L \cdot \Re_C}{\Re_L + \Re_C}$$

ในเมื่อ $\mathfrak{M} = j\omega M$, $\Re_L = \Re_L + j\omega L$; $\Re_C = \mathrm{R}_C + \frac{1}{j\omega C}$

R_C แสดงค่าส่วนเสียกำลังไปในสาขาที่มีคอนเดนเซอร์

R_L ,, ,, ,, ,, ที่มีขดลวด L .

สูตรการกะตุ้นกำลังในตนเองกล่าวว่า

$$\Re = D + \frac{1}{\mathrm{S}\,\Re_a} = D\left[1 + \frac{\mathrm{R}_i}{\Re_a}\right] \qquad \left(\mathrm{R}_i = \frac{1}{\mathrm{S}D}\right)$$

แทนค่าอันดับลงในสมการข้างบนจะได้

$$\frac{\mathfrak{M}}{\mathrm{R}_L} = D\left[1 + \mathrm{R}_i \frac{\Re_L + \Re_C}{\mathrm{R}_L \cdot \Re_C}\right]$$

หรือ

$$\mathfrak{M} \cdot \Re_C = D\,[\,\Re_L\,\Re_C + \mathrm{R}_i\,(\Re_L + \Re_B\,],$$

และจะได้

$$j\omega M\,\mathrm{R}_C + \frac{M}{C} = D\left\{\frac{L}{C} + \mathrm{R}_L\,\mathrm{R}_C + j\left(\omega L\,\mathrm{R}_C - \frac{\mathrm{R}_L}{\omega C}\right)\right.$$

$$\left. + \mathrm{R}_i\left[\mathrm{R}_L + \mathrm{R}_C + j\left(\omega \mathrm{L} - \frac{1}{\omega C}\right)\right]\right\}$$

สมการข้างต้นนั้นมีวิธีพิสูจน์ได้มาอย่างไรนั้น ปรากฏอยู่ในตอนแสดงสมการต่าง ๆ ของวงจรออสซิเลเตอร์หลอดสามอิเลคโทรดต่อไปข้างหน้า เมื่อจัดสมการข้างบนนี้ ให้จำพวกที่เป็นเรียลและอิมเมจินารี่แยกออกมาจัดเป็นสมการเท่ากัน เป็นสองสมการขึ้น คือ

$$(\mathrm{I})\ \frac{M}{C} = D\left[\frac{L}{C} + \mathrm{R}_i\,(\mathrm{R}_L + \mathrm{R}_C) + \mathrm{R}_L\,\mathrm{R}_C\right]$$

$$(\mathrm{II})\ j\omega M\mathrm{R}_C = jD\left[\omega\,\mathrm{L}\,\mathrm{R}_C - \frac{\mathrm{R}_L}{\omega C} + \mathrm{R}_i\left(\omega\,\mathrm{L} - \frac{1}{\omega C}\right)\right]$$

$$\omega M\mathrm{R}_C = D\left[\omega\,\mathrm{L}\,\mathrm{R}_C - \frac{\mathrm{R}_L}{\omega C} + \mathrm{R}_i\left(\omega\,\mathrm{L} - \frac{1}{\omega C}\right)\right]$$

จากสมการอันที่สอง หาค่าของฟรีเควนซี่ ω อันเป็นฟรีเควนซี่กะตุ้นกำลังให้เกิดการกลอก ส่วนจากสมการอันที่หนึ่ง สำหรับหาค่าของแอมปลิจูด อันมีค่าสำหรับทำให้เกิดการกลอกไปมา และเป็นค่าที่ทำให้ความชันเฉลี่ยปานกลาง S และ $\mathrm{R}_i = \frac{1}{SD}$ นี้ เปลี่ยนแปลงตามแอมปลิจูดแห่งการกลอกด้วย สำหรับสมการอันที่หนึ่งถ้าให้ค่าของ R_i และ S มีจำนวนที่กำหนดแน่นอนแล้ว ก็จะต้องทำให้การกลอกเปลี่ยนแปลงไปจนอาการอันนี้มาถึง คืออาจเขียนสมการอันที่หนึ่งนี้เป็นรูป

$$(\mathrm{I}')\frac{M}{\mathrm{L}} = D\left[1 + \frac{C(\mathrm{R}_L + \mathrm{R}_C)}{\mathrm{L}}\,(\mathrm{R}_i + \mathrm{R}_L \parallel \mathrm{R}_C)\right]$$

จากสมการข้างบนนี้มองเห็นได้ชัดเจนว่าส่วนของสมการแอมปลิจูดนี้มี $\Re = D\left[1 + \frac{\mathrm{R}_i}{\Re_a}\right]$ อยู่อีก เพราะเหตุว่า ยิ่งค่าของ $|\Re| = \frac{M}{\mathrm{L}}$ และ $|\Re_a| = \frac{\mathrm{L}}{C(\mathrm{R}_L + \mathrm{R}_C)}$ ใกล้เข้าไปมากเท่าใดแล้ว ค่าของ $\mathrm{R}_L \parallel \mathrm{R}_C$ อันมีส่วนเปรียบเทียบกับ R_i อย่างใกล้กันมากมายนั้น อาจตัดออกเสียได้

เมื่อนำค่าของฟรีเควนซี่เรโซเนนซ์ $\omega_r = \frac{1}{\sqrt{\mathrm{L}C}}$ ของวงจรกลอกไปใส่แทนลงในสมการ (II) แล้วก็จะได้รับค่าตามที่คิดตามแนวของ (I′) เป็น

$$(II') \qquad \frac{\omega^2}{\omega_r^2} = \frac{1+\frac{R_L}{R_i}}{1-\frac{R_C}{R_i}\left(\frac{M}{DL}-1\right)} \quad \frac{1+\frac{R_L}{R_i}}{1-\frac{R_C}{|\Re_a|}}$$

จำนวนเลขของเศษส่วนข้างต้นนี้ ปรากฏว่าเศษมีค่าใหญ่กว่า 1 เสมอ และส่วนจะมีค่าน้อยกว่า 1 เสมอเหมือนกัน ทั้งนี้เป็นด้วย $\frac{M}{DL}-1$ ตาม (I') มีค่าเป็นบวกเสมอ และมีค่าใกล้เคียงกับ $\frac{R_i}{|\Re_a|}$ เพราะฉะนั้นจึงทำให้ ω มีค่าใหญ่กว่า ω_r เสมอ คือหมายความว่าจำนวนฟรีเควนซีที่ทำการกะตุ้นกำลังให้เกิดการกลอกขึ้นนั้น มีค่าสูงกว่าฟรีเควนซีธรรมชาติของวงจรกลอกอาโนดเอง แต่โดยเหตุที่ว่า $|\Re_a|$ (ส่วนมากมีค่าใกล้เคียง R_i) ใหญ่กว่า $R_L + R_C$ อยู่เป็นจำนวน s^2 เท่า ดังนั้นจึงปรากฏว่าความผิดแผกไปจากฟรีเควนซีเรโซแนนซ์มีน้อยมาก ในเมื่อความคมเรโซแนนซ์ s มีขนาดใหญ่อยู่เป็นธรรมดา สำหรับ $s = 32$ นั้นได้ค่าของ $s^2 = 1000$ ซึ่งจะทำให้เกิดความผิดแผกไปจากฟรีเควนซีเรโซแนนซ์เพียงประมาณ 0,1%

ในวงจรที่ซับซ้อนกันกว่านี้ ย่อมไม่อาจนำค่าของเรียลและอิมเมยินนารีของสมการสองสมการแยกเอามาใส่เท่ากันได้ง่าย ๆ ดังที่แล้วมา เพราะว่าปรากฏตัวที่ไม่รู้อยู่เพียง R_i และ ω เท่านั้น เพราะฉะนั้น การที่จะคำนวณหาค่าทั้งสองที่กล่าวนี้จากสมการสองอันนั้นนับว่าไม่สะดวกอย่างที่สุด ซึ่งตามทางใช้การแล้วถือว่าไม่มีค่าอย่างใดเลย สำหรับการแสดงความสัมพันธ์ของวงจรประกอบผลในทางคำนวณด้วยเลขชั้นสูงนั้นก็ได้นำมากล่าวไว้ในตอนข้างหน้าเหมือนกัน

๔) พฤติภาพสำหรับการกลอกติดต่อ

เท่าที่ได้กล่าวมาแล้วในตอน ๕ หน้า ๙๐ ว่า ความเสื่อมทรุดของอาการกลอกหายไปในวงจรกลอกนั้น เนื่องจากการใช้จ่ายกำลังงานเสียไปในความต้าน ซึ่งเป็นกำลังงานที่เสียไปจริง อันแทนด้วยเวคเตอร์ของเรียล คือเป็นการเสียกำลังงานไปในความต้านโอม ในเส้นลวดทองแดง หรือเมื่อเป็นอิมมายินารี่ ก็คือการเสียกำลังจ่ายไปโดยการแผ่กระจายออกไปในห้วงว่าง การที่จะทำให้บังเกิดมีอาการกลอกโดยติดต่อกันอยู่ได้เรื่อยไปนั้น อาจจะทำได้โดยวิธีใดวิธีหนึ่งในสองวิธีที่กล่าวคือ โดยการทำให้ความต้านหมดความสามารถในการสำแดงผลต้านแก่วงจร ด้วยการเพิ่มเติมความต้านลบ (Negative resistance) อันมีขนาดเท่ากันเข้าในวงจรประการหนึ่ง หรือโดยการจัดบ้อนกำลังงานอันเท่ากันกับกำลังงานที่จ่ายเสียไป ชดเชยให้แก่วงจรอยู่ตลอดเวลาอีกประการหนึ่ง สำหรับประการแรกได้แก่เครื่อง Poulsen arc generator เป็นต้น ส่วนประการที่สองนั้น เป็นวิธีการที่ใช้อยู่กับออสซิเลเตอร์ชะนิดใช้หลอดอิเลคทรอน อันเป็นเรื่องที่เรากำลังศึกษาอยู่ วิธีที่จัดบ้อนกำลังงานให้แก่วงจรดังกล่าวนี้ อาจทำได้ทั้งในทางแมคคานิคส์ หรือในทางไฟฟ้า สำหรับในทางแมคคานิคส์นั้น การบังคับอาการกลอกตามปกติอยู่ภายในเขตต์ฟริเควนซี่ต่ำ หรือเรียกว่าฟริเควนซี่อันได้ยินได้ด้วยหู ส่วนในทางไฟฟ้านั้นอาจบังคับให้มีฟริเควนซี่การกลอกทรงตัวอยู่ด้วยขนาดต่าง ๆ ได้ตามชอบใจ แต่วิธีทางแมคคานิคส์ก็อาจจะใช้

กับออสซิเลเตอร์พริ้เควนซี่สูงได้ โดยใช้ฟริ้เควนซี่ฮาร์โมนิค (Harmonic) ของฟริ้เควนซี่พื้น (Fundamental frequency)

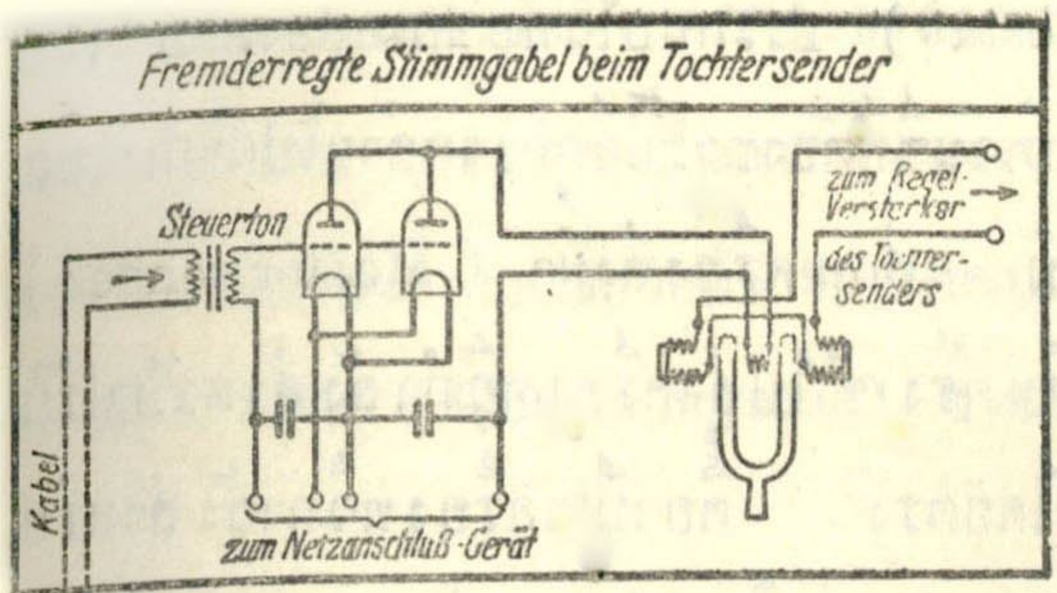
(ก) <u>ออสซิเลเตอร์บังคับด้วยอาการแมคคานิคส์</u>

๑) ออสซิเลเตอร์บังคับด้วยอาการแมคคานิคส์ ที่นับว่าสะดวกที่สุด คือซ่อมเสียง (Tuning fork) วิธีที่ใช้กันอยู่ตามธรรมดา คือใช้ซ่อมเสียงประกอบกันกับขั้วแม่เหล็กอยู่ที่ปลายซ่อม ขั้วแม่เหล็กนี้จัดให้กลอกตัวต่อเข้าและปลดออกอยู่ภายในวงไฟของขดลวดอินดัคแตนซ์สองขด ซึ่งขดหนึ่งต่ออยู่ในวงจรอาโนด และอีกขดหนึ่งต่ออยู่ในวงจรกริดของหลอดสามอิเลคโทรด เมื่อต่อให้ขดลวดทั้งสองวงที่กล่าวนี้อยู่ในอาการถูกทิศวนกันแล้ว กระแสไฟที่เกิดขึ้นในระหว่างวงขดลวดในวงจรทั้งสองนี้ จะช่วยดำรงให้การกลอกตามธรรมชาติของซ่อมเสียงทรงอยู่เรื่อยไป และส่งอาการกลอกนี้ไปสำแดงแก่วงจรจ่าย (Output circuit) ของหลอด ฉะนั้นจำนวนฟริ้เควนซี่แห่งการกลอกไปมาของหลอดจึงเป็นฟริ้เควนซี่ของซ่อมเสียงนั่นเอง เมื่อใช้ความระมัดระวังแต่งอุณหภูมิเพื่อรักษาให้ฟริ้เควนซี่นี้ประจำ ก็สามารถจะรักษาให้คงที่อยู่ได้เป็นเวลานาน ๆ กระแสไฟฟริ้เควนซี่ต่ำอันมีจำนวนฟริ้เควนซี่ประจำคงที่นี้ส่งไปทำการทวีกำลังให้แรงขึ้นด้วยหลอดทวีกำลังเป็นขั้น ๆ ซึ่งจูนไว้สำหรับฟริ้เควนซี่ที่เป็นฮาร์โมนิคสูงกว่าฟริ้เควนซี่พื้นของซ่อมเสียงสูงขึ้นไปตามลำดับ จนมีกำลังจ่ายออกแรงพอตามจำนวนฟริ้เควนซี่ที่ต้องการแล้วจึงประสานถ่ายกำลังให้แก่วงจรสายอากาศ ออสซิเลเตอร์ที่ใช้ซ่อมเสียงเป็นเครื่องบังคับจำนวนฟริ้เควนซี่นี้ ขอบัญญัติ

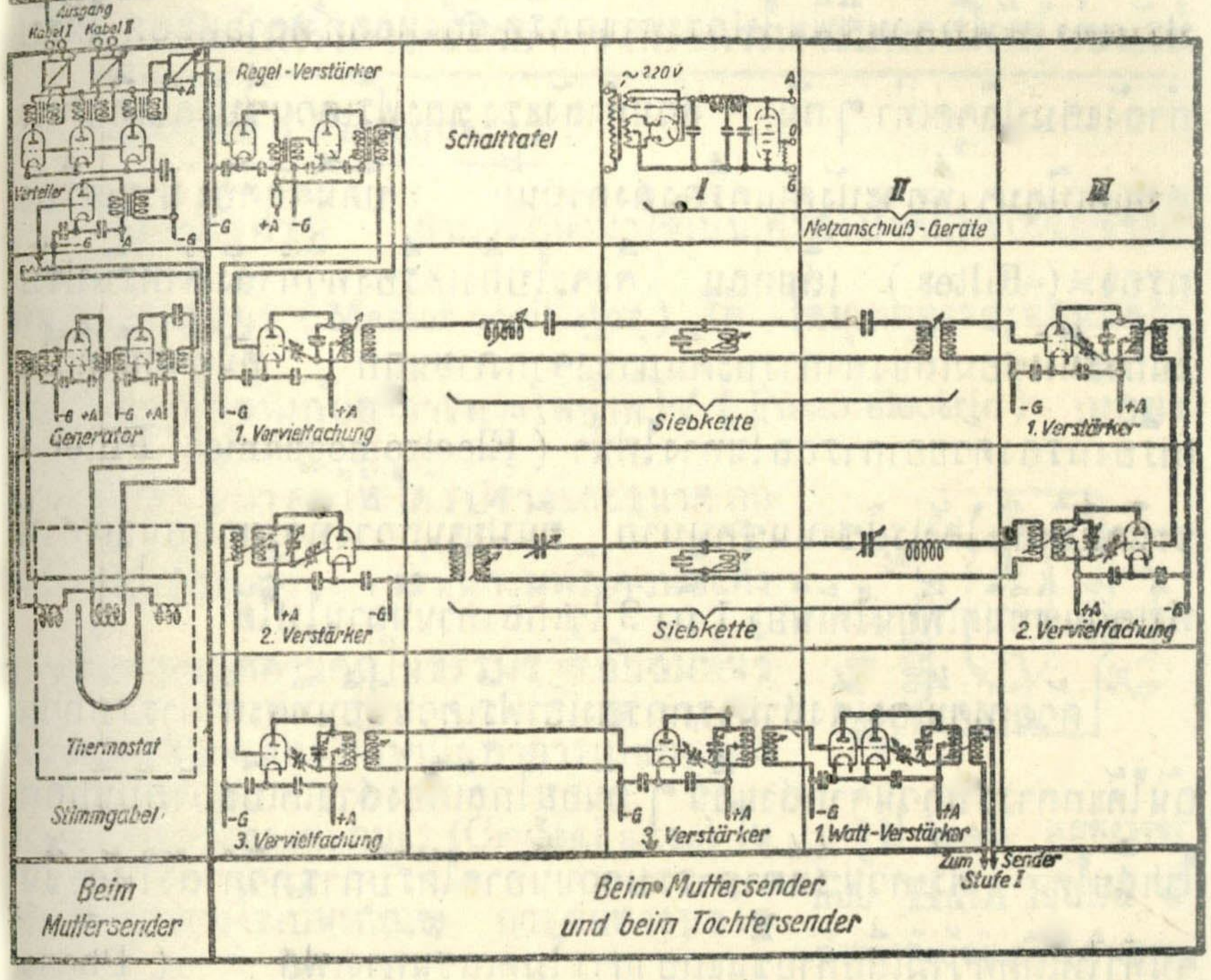
ให้เรียกว่า ออสซิเลเตอรนำ ซึ่งตรงกับภาษาอังกฤษว่า " Master Oscillator " หรือที่เรียกกันตามความหมายของหลอด เรียกว่า " หลอดขับ " (Driving valve)

ตัวซ่อมเสียงนี้ เป็นออสซิเลเตอร สำหรับทำการบังคับ ฟรีเควนซี่ของเครื่องส่งที่ใช้คลื่นขนาดยาว เครื่องส่งที่ทำการบังคับ ฟรีเควนซี่ด้วยซ่อมเสียงนี้ ในประเทศอังกฤษใช้อยู่ที่สถานีรักบี้ ของที่ทำการไปรษณีย์กลาง ส่วนในประเทศเยอรมันก็มีใช้อยู่หลายแห่ง โดยใช้ขนาดคลื่นเท่ากัน คือทางเยอรมันภาคเหนือมีสถานีส่งตามเมืองต่าง ๆ ๕ เมือง ได้แก่ เฟลนซบัวรก, เบรเมน, มัคเดบัวรก, ฮันโนแฟร, และชเตตติน ทำงานด้วยคลื่น $\lambda = 225{,}6$ ม. (1330 กิโลไซเกิล) ส่วนเยอรมันภาคใต้ใช้ขนาดคลื่น $\lambda = 251$ ม. (1195 กิโลไซเกิล) ประกอบด้วยสถานีส่งหกสถานีอยู่ตามเมืองต่าง ๆ คือ ฟรังคฟัวรต, คาซเซล, โคบเลนทซ, ทริแอร, ไคเซ่อร, เลาแทร, และไฟรบัวรค ซึ่งหมดด้วยกันทั้งสองภาค มีสถานีส่งใช้คลื่นอย่างเดียวกัน ต่อร่วมกันได้ถึง ๑๑ สถานี ส่วนกำลังเครื่องส่งสถานีหนึ่ง ๆ มีกำลังประมาณ ๕ กิโลวัตต ยกเว้นสถานีที่ฟรังฟัวรต มีกำลังถึง ๒๕ กิโลวัตต การบังคับฟรีเควนซี่ หรือขนาดคลื่นของสถานีในเยอรมัน ทั้งสองภาคที่กล่าวนี้ ต่างก็ใช้ซ่อมเสียงดังหลักที่กล่าวแล้วทั้งสิ้น คือเป็นแบบเก่าของลอเรนทซ (Lorenz System)

เพื่อสนับสนุนข้อความต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้ว ให้ผู้อ่านเกิดความเข้าใจง่ายขึ้น จึงได้นำแผนแสดงการติดต่อวงจรของเครื่องส่งชะนิดบังคับฟรีเควนซี่ด้วยซ่อมเสียงมาแสดงไว้ด้วย



รูป ๒๑๕ แสดงการติดต่อวงจรของเครื่องส่ง ชะนิดที่บังคับด้วยซ่อมเสียงแบบโลเรนทซ์เก่า



ตามรูป ๒๑๕ นี้ใช้ซ่อมเสียงเป็นเครื่องทำให้เกิดฟรีเควนซีพนและรักษาให้มีค่าประจำคงที่ เพื่อหลีกเลี่ยงอิทธิพลของอาการเปลี่ยนแปลงในอุณภูมิอันเป็นเหตุทำให้ฟรีเควนซีเปลี่ยนแปลง จึงได้ทำเครื่องปรับ

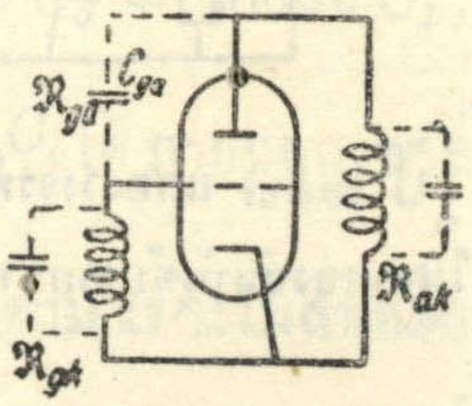
อุณหภูมิให้คงที่ (Thermostat) ประกอบไว้กับซ่อมเสียงด้วย เมื่อได้ทำการทวีกำลังแล้ว ฟรีเควนซีที่ต้องการนี้ก็ถูกแจกจ่ายไปตามเคเบิลเป็นสาย ๆ ไปสู่เครื่องส่งตาม ส่วนเครื่องส่งนำ (Master sender) นั้น ฟรีเควนซีบังคับเดินตรงเข้าไปสู่เครื่องทวีกำลังสำหรับปรับ (Adjusting amplifier) โดยตรง คือเป็นเครื่องทวีกำลังสำหรับปรับแต่งให้ฟรีเควนซีพันไปกระทำแก่กริดของหลอดหลายหลอด ได้รับกำลังแอมปลิจูดเท่า ๆ กัน ส่วนกำลังแรงของฟรีเควนซีบังคับเดินตามสายเคเบิลมาเพื่อจะบังคับเครื่องส่งตามนั้น บัดนี้จักต้องผ่านเครื่องกรอง (Filter) เสียก่อน จึงจะไปถึงเครื่องทวีกำลังสำหรับปรับในการนี้มีซ่อมเสียงทำการกะต้นกำลังจากภายนอก อันทำหน้าที่เป็นเครื่องกรองด้วยอาการกลในทางไฟฟ้า (Electromechanical Filter) ชะนิดที่มีเส้นโค้งเรโซแนนซ์คมมาก อันมีย่านกว้างที่จะยอมอนุญาตให้ฟรีเควนซีที่ผิดเพี้ยนได้เพียง 1 ถึง 2 ไซเกิลเท่านั้นผ่านไปได้

ด้วยเหตุนี้เอง จึงสามารถกรองเอาฟรีเควนซีอื่นที่จะทำการรบกวนอันได้แก่การรบกวนจากสายอื่น ๆ อันอยู่ใกล้เคียงสายเคเบิลบังคับนี้ออกไปเสียได้ ฟรีเควนซีที่ทำการรบกวนนี้อาจได้รับการทวีกำลังให้สูงขึ้นจนทำให้เกิดความเสียหายขึ้นแก่อาการโมดุเลชั่นทางเฟส (Phase modulation) ของเครื่องส่งก็เป็นได้ โดยเหตุที่เครื่องกรองชะนิดซ่อมเสียง (Tuning fork filter) นี้ มีความคมในทางเป็นเรโซแนนซ์สูงมาก และมีช่วงเวลากดอกตัวยาว ย่อมจะทำให้อาการรบกวนซึ่งผ่านมาได้ภายในย่านที่กำหนดบังเกิดขึ้นได้ชั่วเวลาอันสั้นนั้น เสื่อมกำลังลาดลง

สำหรับเรื่องการบังคับฟรีเควนซี่เครื่องส่งด้วยซ่อมเสียง จะขอยุติไว้เพียงเท่านี้ก่อน เกรงว่าจะเป็นการเยิ่นเย้อเกินความต้องการในชั้นนี้ จึงขอนำการบังคับฟรีเควนซี่ด้วยอาการแมคคานิคสุอีกอย่างหนึ่ง คือบังคับด้วยแร่ควอรตซ (Quartz crystal) ขั้นมากล่าวต่อไป

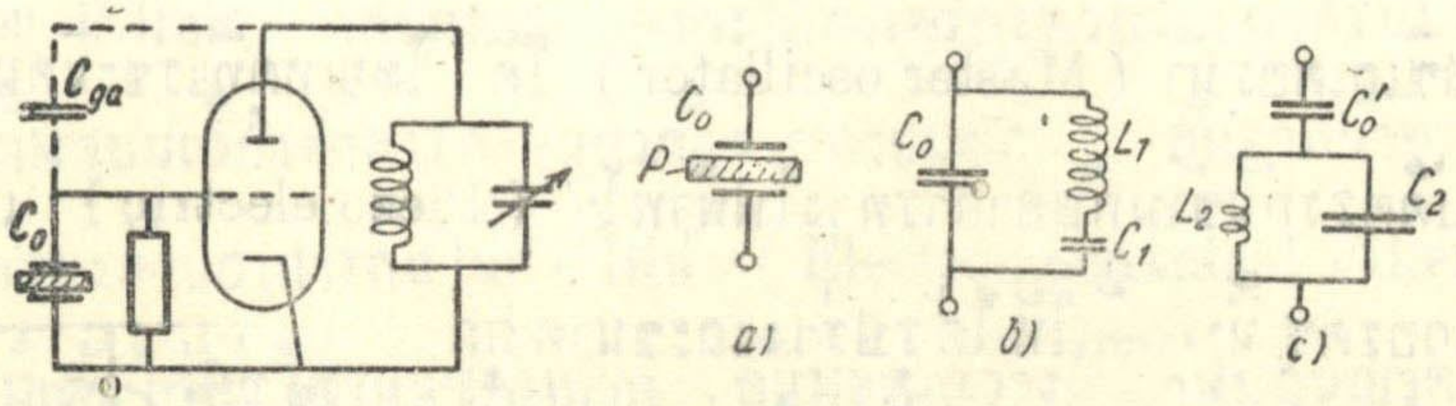
ข) <u>การบังคับฟรีเควนซี่โดย การ กลอก ทาง แมคคานิคส์ ของแร่ควอรตซ (Piezoquarz)</u>

แร่ควอรตซนี้ สามารถนำมาใช้เป็นเครื่องบังคับฟรีเควนซีของออสซิเลเตอรนำ (Master oscillator) ได้ โดยเหตุที่แร่ชะนิดนี้มีคุณสมบัติตรงกันข้ามกับอาการทางไฟฟ้าพีโซ (Piezo electric) เมื่อนำแร่ควอรตซนี้มาตัดให้ได้รูปร่างและขนาดถูกต้องเรียบร้อยแล้ว แร่นั้นจะมีฟรีเควนซีแห่งการสั่นทางแมคคานิคสุในธรรมชาติอันสัมพันธ์ขึ้นอยู่กับขนาด และ ลักษณะ อาการเป็นอยู่ของพื้นหน้าแร่กระทำแก่แกนแร่ (Crystal axes) ในลักษณะอย่างไรเป็นเกณฑ์ การสั่นทางกลไกซึ่งภาษาอังกฤษเรียกว่า Mechanical vibration นี้ จะทำให้บังเกิดมีไฟฟ้าประจุกลอกติดตามมาปรากฏขึ้นบนผิวหน้าของแร่ด้วยจำนวนฟรีเควนซีอย่างเดียวกันกับฟรีเควนซีการสั่น ไฟฟ้าประจุที่กลอกตัวไปมา (Oscillatory charge)



รูป ๒๑๖ แสดงวงจรแบบ Huth Kühn ที่ถ่ายกำลังบ้อน กลับ ผ่านทางแคแปซิตี ระหว่าง กริด และ อาโนดคือ C_{ga}

นี้กระทำอาการสำแดงอยู่ในระหว่างกริดกับคาโทด หรือระหว่างกริดกับอาโนดของหลอดดังในรูป ๒๑๗ จึงทำให้บังเกิดผลปรากฏเป็นกระแสไฟกลอกขนในวงจรอาโนด ในที่นี้ขอนำวงจรที่แสดงการกลอกด้วยอาการไฟฟ้าเป็นเครื่องบังคับรูป๒๑๖ อันเป็นวงจรแบบ Huth Kühn มาแสดงเป็นหลักเปรียบเทียบ คือแทนที่จะใช้วงจรกลอก $\Re_{gK}$ ดังในรูป ๒๑๖ แต่ใช้คอนเดนเซอร์ขนาดเล็ก C_o แทน และคอนเดนเซอร์ตัวนี้มีแร่สำแดงอาการไฟฟ้าทางพีโซ (Piezo electric crystal) [แร่ควอรตซ์, ทัวรมาลิน] เป็นกำบังไฟฟ้า (Dielectric) ดูรูป ๒๑๗



รูป ๒๑๗ แสดงวงจรที่ทำการกะตุ้นกำลังในตนเองอันบังคับจากอาการของไฟฟ้าพีโซ

รูป ๒๑๘ แสดง

a) แผ่นแร่พีโซ (Piezo crystal) P วางอยู่ในระหว่างแผ่นของคอนเดนเซอร์

b) วงจรกลอกอันดับอันสมมติขึ้นแทน

c) วงจรกลอกขนานเป็นพวงอันสมมติขึ้นแทน

แร่ที่กล่าวนี้ มีอาการกลอกตามธรรมชาติในทางแมคคานิคส์ภายนอก ด้วยลักษณะเสื่อมกำลังอย่างอ่อน เมื่อใช้เครื่องยึดแร่นี้เหมาะกันและจะได้ความคมแห่งการเป็นเรโซแนนซ์ $\varrho = 3000$ หรือใหญ่กว่านี้ตามการสำแดงผลทางไฟฟ้าพีโซนี้ ปรากฏว่ามีไฟฟ้าประจุสลับไป

มาบังเกิดขึ้นที่คอนเดนเซอร์ อันเกิดจากกำลังดันหรือแรงดันทางอากาศแมคคานิคส์สลับไปมาตลอดเวลาที่ยังมีอากาศกลอกสำแดงตัวอยู่ เพราะฉะนั้นแร่ไฟฟ้าพิโซ (Piezo electric crystal) ในคอนเดนเซอร์ C_o นี้จึงสำแดงผลทางไฟฟ้าอย่างเดียวกันกับอากาศกลอกไฟฟ้าอันมีการเสื่อมกำลังอย่างอ่อนอยู่ในวงจรกลอกอันดับซึ่งมีคอนเดนเซอร์ C_o ต่อขนานอยู่ (เปรียบเทียบรูป ๒๑๘b) [แทนที่จะใช้วงจรสมมติขึ้นแทนดังในรูป ๒๑๘ b ยังอาจใช้วงจรกลอกขนานดังในรูป ๒๑๘c แทนได้หมือนกัน วงจรกลอกขนานนี้มีคอนเดนเซอร์ C_o' ต่อเป็นอันดับร่วมอยู่ด้วย เมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดของส่วนประกอบต่าง ๆ แต่ละส่วนในวงจรที่กล่าวแล้วให้เหมาะกัน ก็จะได้ค่าของจำนวนฟรีเควนซีในวงจรทั้งสองนี้เหมือนกันและอาจให้ค่าใกล้เคียงเป็น $C_o' = C_o$; $C_2 = 140\ C_o = 20000\ C_1$; $L_2 = \frac{1}{20000} L_1 \cdot$] และอาจใช้ค่าใกล้เคียง $C_1 = \frac{1}{140} C_o$ ได้ ภายนอกเขตต์เรโซแนนซ์จะเป็นเบื่องบนหรือเบื่องล่างของเขตต์นี้ก็ตาม แร่จะไม่สั่นหรือกลอกตัวเลย ฉะนั้นจึงปรากฏว่ามีแต่เพียงคอนเดนเซอร์ C_o ปรากฏอยู่ และการกะตุ้นกำลังในตนเองจึงไม่สามารถมีได้ เพราะเหตุว่า $\Re_{gK}$ จะต้องเป็นอินดัคติฟด้วย เมื่อเป็นเรโซแนนซ์กันอย่างถูกต้องนั้น วงจรกลอกอันดับแสดงค่าในความต้านโอมน้อย และวงจรนั้นรับกระแสไฟมาก แต่อาการกะตุ้นกำลังในตนเองไม่สามารถจะมีได้อีกเหมือนกัน ทั้งนี้เนื่องจากมีเฟสผิด เมื่อเป็นเช่นนี้ จึงทำให้วงจรกลอกอันดับอันมีอาการเป็นเรโซแนนซ์ในอาการอินดัคติฟและมีความต้านโอมต่ำลงยิ่งขึ้น ในเมื่อ

เข้าใกล้อาการเป็นเรโซแนนซ์มากขึ้น แต่ในเมื่ออยู่ในอาการใกล้เป็นเรโซแนนซ์อย่างที่สุด คือเมื่อค่าของความผิดจากเป็นเรโซแนนซ์ $v<1/140$ จะมีความต้านโอมต่ำกว่า C_o ก็ตาม ถึงกระนั้นก็ยังทำให้ C_o ~ 140 C_1 อยู่นั่นเอง ฉะนั้นการติดต่อของวงจรทั้งหมดนี้ (วงจรกลอกอันดับซึ่งมีคอนเดนเซอร์ C_o ต่อขนานเป็นพวง) จึงเป็นอินดัคติฟ และด้วยอาการที่มีแคแปซิตีขึ้นระหว่างกริดกับอาโนดภายในหลอดคือ C_{ga} นี้เอง จึงบังเกิดมีการกะตุ้นกำลังในตนเองขึ้น เมื่อต่อจากอาการเรโซแนนซ์ไป วงจรกลอกอันดับนี้จะมีความต้านโอมสูงขึ้น โดยที่ C_o ชะนะต่ออาการอันอื่น คือทำให้อาการของวงจรทั้งหมดกลายเป็นแคแปซิติฟ ตามทางใช้การจึงปรากฏว่าการกะตุ้นกำลังในตนเองของวงจรนี้จะมิได้ก็ต่อเมื่ออยู่ในจำนวนฟริเควนซีอันเท่ากันกับฟริเควนซีธรรมชาติของแร่นั้นจริง ๆ

ความต้าน $\Re_a$ ในวงจรอาโนดจะต้องเป็นอินดัคติฟ แต่ว่าขนาดของความต้านนี้ ตามทางใช้การปรากฏว่ามีอิทธิพลสำแดงฉะเพาะแก่ความเข้มแข็งแห่งการกลอก หาได้สำแดงแก่ฟริเควนซีไม่ ค่าของ $\Re_a$ นี้เป็นแต่เพียงไม่ยอมให้มีค่าเล็กจนเกินไป มิฉะนั้นแล้วจะไม่บังเกิดมีการกะตุ้นกำลังในตนเองขึ้นเลย เมื่อใช้วงจรกลอกขนานตามธรรมดาที่มีวาเร้ยเบิลคอนเดนเซอร์ C_a ต่อเป็นพวงอยู่ และวงจรนี้มีความต้านใช้ $\Re_a$ แทน แล้วสังเกตดูจะเห็นว่า ในเมื่อ C_a มีขนาดแคแปซิตีใหญ่จะไม่มีการกลอกบังเกิดขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะ $\Re_a$ มีอาการเป็นแคแปซิติฟ แต่ทันใดที่ผ่านพ้นอาการเรโซแนนซ์ของ $\Re_a$ ไปจะบังเกิดมีการกลอกขึ้นอย่างแรง

ส่วนความเข้มแข็งหรือความแน่นจะลดน้อยลงตามลำดับ จนในที่สุดหมดสิ้นไป เพราะว่าสำหรับค่า C_a เล็ก ๆ นั้นการทวีอาการเรโซแนนซ์ให้สูงขึ้นนั้นตกไป จึงเป็นอันว่า $\Re_a$ กลายมาเท่ากันกับ ωL_a และค่าของ $\Re_a$ นี้อย่างเดียว โดยมากมีค่าน้อยกว่าความต้านภายใน R_i ของหลอดอยู่เป็นอันมาก ด้วยประการที่กล่าวนี้เอง จึงเป็นเหตุทำให้สามารถแต่งให้มีการกะตุ้นกำลังในตนเองภายในเครื่องส่งได้ฉะเพาะแต่เมื่อมีฟรีเควนซีเท่ากันกับที่กล่าวแล้วอย่างถูกต้องเช่นเดียวกันกับเมื่อทำการแต่งทางภาควงจรอาโนด ถ้าเมื่อวงจรไม่มีการกะตุ้นกำลังในตนเองเลยก็ตามแต่ก็ยังคงทำการกะตุ้นกำลังด้วยฟรีเควนซีตามธรรมชาติของแร่ที่ต่อเข้าในวงจรกลอกนั้นอยู่ เมื่อเปลี่ยนแร่ต่อเข้าในวงจรเป็นแร่ขนาดอื่น ก็จะได้รับขนาดฟรีเควนซีใหม่ทันที อันมีจำนวนฟรีเควนซีที่กำหนดให้มีความแน่นอนได้ละเอียดถึง 1/1000 ของฟรีเควนซีที่ต้องการ.

ขนาดของฟรีเควนซีที่แร่จะทำการสั่นหรือบังคับอาการกลอกนี้ จะมีเท่าใดย่อมขึ้นอยู่กับความหนา d ของแผ่นแร่เป็นเกณฑ์ สำหรับแร่ควอร์ตซุนั้น สูตรที่กล่าวข้างล่างนี้ใช้ได้ใกล้เคียงมากคือ

$$\lambda = 1{,}06 \cdot 10^5 \, d \quad .. \quad .. \quad .. \quad .. \quad .. \quad (183)$$

สำหรับค่าของ $\lambda = 100$ ม; $f = 3 \cdot 10^6$ ไซเกิล ก็จำเป็นจะต้องใช้แผ่นแร่ควอร์ตซุหนา 1 มม. สำหรับแผ่นแร่ทัวรมาลีนนั้นสามารถทำให้บังคับขนาดคลื่นต่ำถึงได้ $\lambda = 2$ ม. ส่วนสำหรับขนาดคลื่นยาวเกินกว่า 1000 ม. นั้น นิยมใช้การกลอกในทางอาการแอ่นงอของแท่งแร่

ควอร์ตซ์ ส่วนคลื่นที่ยาวมากขึ้นไปอีกมาก ๆ และคลื่นเสียงนั้นใช้แท่งเหล็กดัดหรือซ่อมเสียงเป็นเครื่องบังคับขนาดยาวคลื่น ซึ่งใช้อาการในทาง ยืดหด ตัวของโลหะที่ เกิดเป็น แม่เหล็กในทาง ตามยาว ภาษาอังกฤษเรียกว่า Magnetostriction หรือใช้การกะตุ้นกำลังในทางแม่เหล็กตามธรรมดามาทำให้เกิดการกลอกทางแมคคานิคสั่นขึ้น บรรดาสิ่งต่าง ๆ ที่กล่าวแล้วนั้น ล้วนแต่สำแดงอาการโดยมีการบ้อนกำลังกลับแรงพอทั้งสิ้น เช่นเดียวกันกับในวงจรกลอกไฟฟ้า แต่ยังมีข้อดีอีกอย่างหนึ่งก็คือในเรื่องการเสื่อมกำลังภายนอกมีน้อย และแรกใช้เป็นเครื่องบังคับฟรีเควนซีนั้น ยังอาจนำไปใช้กับวงจรแบบอื่นนอกไปจากที่แสดงมาแล้วในรูป ๒๑๗ เหมือนกัน.

ข) <u>วิธีกะตุ้นกำลังโดยกำลังไฟฟ้า</u> (วงจรบ้อนกำลังกลับหรือที่อังกฤษเรียกว่า Reaction Circuit)

วิธีเพิ่มเติมกำลังงานทางไฟฟ้าไปให้วงจรกริด หรือวงจรทางเข้าของหลอดออสซิเลเตอร์นั้น ก็อาจถือว่า เท่ากันกับการเพิ่มแรงเคลื่อนไฟฟ้าอันมีฟรีเควนซีอย่างเดียวกัน และมีเฟสร่วมกันกับกระแสไฟกลอกในชั้นเดิมได้

วงจรที่ใช้หลอดสามอิเลคโทรดเป็นออสซิเลเตอร์โดยการเพิ่มเติมกำลังงานทางไฟฟ้าบ้อนเข้าทางวงจรกริดของหลอดนั้น มีแบบต่าง ๆ กันหลายแบบ แต่ที่อาจจำแนกออกตามหลักใหญ่ ๆ ได้เป็นสามประเภทด้วยกัน คือ

ก) วงจรที่ได้รับกำลังป้อนกลับ ด้วยอาการชักนำ ของขดลวดอินดัคแตนซ์ ซึ่งเรียกว่า Inductive Reaction.

ข) วงจรที่ได้รับกำลังป้อนกลับ ด้วยอาการถ่ายกำลังผ่าน ทางคอนเดนเซอร์ ซึ่งเรียกว่า Capacitive Reaction.

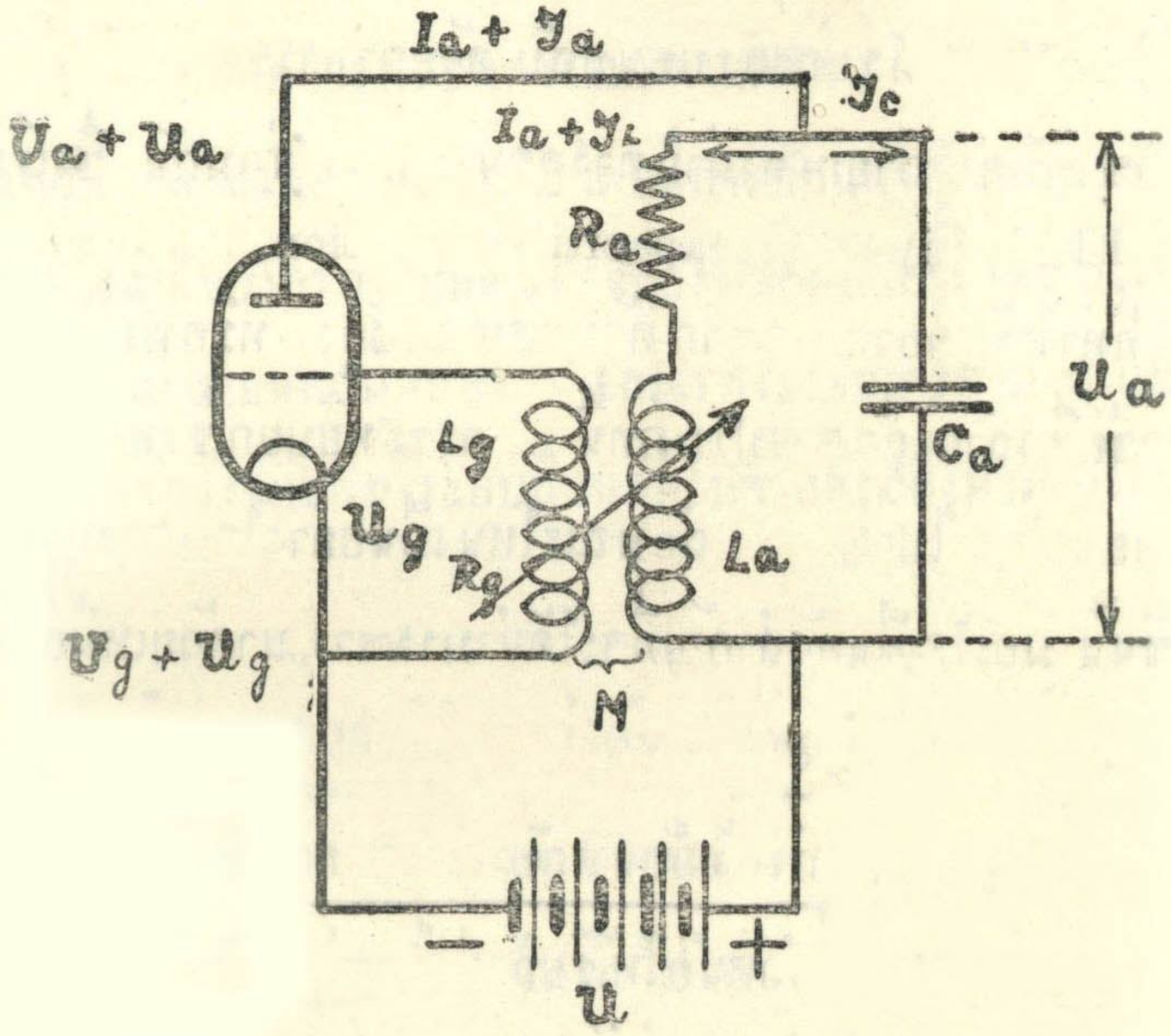
ค) วงจรที่ได้รับกำลังป้อนกลับ ด้วยอาการชักนำ ของขดลวดอินดัคแตนซ์ กับการถ่ายกำลังผ่านทางคอนเดนเซอร์ร่วมกัน ซึ่งเรียกว่า Combined Inductive and Capacitive Reaction.

วิธีที่ทำให้เกิดอาการกลอก ด้วยฟรีเควนซีสูง หรือฟรีเควนซีวิทยุ ภายใต้หัวข้อที่กล่าวแล้วสามประเภทนี้ จะขอหยิบยกขึ้นพิจารณาเป็นราย ๆ โดยฉะเพาะไปว่า ลักษณะไหน เป็นอย่างไร และการบังคับฟรีเควนซีนั้น มีอะไรเป็นตัวสำคัญที่จะได้นำมาพิจารณาด้วยเหมือนกัน

๔) วงจรกลอกที่มีหลอด

ก. วงจรที่ได้รับกำลังป้อนกลับ ด้วยอาการชักนำ ของขดลวดอินดัคแตนซ์ ซึ่งในที่นี้ ขอกำหนดให้เรียกแต่เพียงย่อ ๆ ว่าวงจรอินดัคตีฟ วงจรหลอดออสซิเลเตอร์อย่างง่ายนั้นได้นำมาแสดงไว้ในรูป ๒๑๙ แล้ว ขดลวด L_g เรียกว่าขดลวดรีแอคชั่น เป็นขดลวดที่ประสานถ่ายกำลังเข้ากับขดลวด L_a ของวงจรกลอก วงจรกลอกนี้ ต่อเข้ากับอาโนดของหลอด ถ้าปราศจากคอนเดนเซอร์ C_a เสียแล้ว ก็จะไม่เป็นวงจรกลอกได้ เว้นแต่ว่าแคแปซิตีอันบังเกิดขึ้น ในระหว่างอิเลคโทรด ของหลอดจะทำหน้าที่เป็น คอนเดนเซอร์ ของวงจรกลอกเท่านั้น ในรายที่กำลังพิจารณาอยู่ขณะนี้ไม่ได้คิดถึง แคแปซิตี อันเกิดขึ้นในระหว่าง อิเลค

โทรดของหลอดเข้ามาเกี่ยวด้วย จึงเห็นได้ว่า เมื่อค่าของการชักนำ
ซึ่งกัน และกัน (Mutual induction) ระหว่างขดลวดอาโนด กับขด
ลวดกริดทวีขึ้นโดยสม่ำเสมอ จนถึงค่าอันเหมาะก็ทำให้บังเกิดมีอาการ



รูป ๒๑๕ แสดงวงจรที่ได้รับกำลังบ้อนกลับด้วยอาการชักนำ
ของขดลวดอินดัคแตนซ์

กลอกขึ้นในวงจรกลอกอาโนดและดำรงอาการนั้นทรงตัวอย่โดยอัตโนมัติ
ถ้าหากว่า การประสานถ่ายกำลังชักนำระหว่างขดลวดทั้งสองที่กล่าวแล้ว
ทวีค่ามากขึ้นไปจนเกินขนาดสูงสุดอันพอเหมาะแล้ว อาการกลอกใน
วงจรนั้นก็จะไม่ดำรงทรงอยู่ต่อไปได้อีก

อาการที่จะเริ่มต้นกลอกตัวเองขึ้นในวงจรได้อย่างไรนั้น ใคร่จะขอ
อธิบายตามทางสันนิษฐานถึงผลอันเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟ
ในขดลวดอินดัคแตนซ์ L_a โดยฉับพลันเป็นเกณฑ์ คือ เมื่อมีตัวการ
รบกวนตัวใดตัวหนึ่งก็ตาม ที่อาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟขึ้น
ขณะหนึ่ง ดังเช่นการสับไฟเข้าไปจุดพีลาเมนท์ (คาโทด) ของหลอด
หรือการต่อสวิทช์ของแบตเตอรี่ไฟสำหรับอาโนดเหล่านี้ ก็จะทำให้
บังเกิดมีแรงเคลื่อนต้าน (Back E. M. F.) ติดตามอาการเปลี่ยนแปลง
ของกระแสไฟออกมา และแรงเคลื่อนต้านนี้ก็ทำการต้านกระแสไฟมิให้
ทวีหรือลดจำนวน ทั้งนี้ย่อมแล้วแต่ลักษณะ ของอาการที่บังเกิดแก่
กระแสไฟจะเป็นในทางใด การประสานถ่ายกำลังให้แก่กัน ในระหว่าง
อินดัคแตนซ์อาโนด L_a และอินดัคแตนซ์กริด L_g นี้ จะยังผลให้เกิดมี
แรงเคลื่อนชักนำ (Induced E. M. F.) ขึ้นในขดลวด L_g ทิศของ
แรงเคลื่อนชักนำที่ว่านี้ จะกระทำไปทางใดนั้น ย่อมแล้วแต่ทิศแห่งการ
เปลี่ยนแปลงของฟลักซ์ ซึ่งอาการอันนี้ย่อมอาศัยทิศของวงขดลวดกริด
จะกระทำอาการสัมพันธ์อยู่กับวงขดลวดของอาโนดอย่างไร สำหรับการ
ที่จะบำรุงรักษาให้อาการกลอกดำรงทรงอยู่ตลอดไป ก็จำเป็นที่จะต้อง
จัดวางให้ทิศของวงขดลวดอยู่ในอาการที่ว่า ผลในการเปลี่ยนแปลง
โปเตนเชียลที่กริดอันเกิดขึ้น โดยแรงเคลื่อนชักนำมายังขดลวดกริดนั้น
จะต้องทำให้กระแสไฟอาโนดเปลี่ยนแปลงไปในทิศอย่างเดียวกัน เมื่อ
เกิดจากอาการรบกวนแต่ตอนแรก ถ้าการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟ
ใน L_a ขั้นแรกอยู่ในอาการเปลี่ยนทวีขึ้น แล้วแรงเคลื่อนชักนำใน L_g

ก็จักต้องอยู่ในทิศที่ทำให้โปเตนเชี่ยลของกริดเป็นบวกมากขึ้น อาการเปลี่ยนแปลง ของกระแสไฟใน L_a ในขั้นเดิมนั้นก็จะถูกกะตุ้นให้มีแรงขึ้น และทำให้เกิดมีแรงเคลื่อนชักนำขึ้นใน L_g ต่อไป ผลที่ได้ก็คือจะทวีกระแสไฟใน L_a ให้มากขึ้นอีก ด้วยอาการเช่นนี้เองจึงทำให้ผลการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟ และแรงเคลื่อนชักนำทวีค่าเจริญขึ้นต่อ ๆ ไป และถ้าหากว่าไม่มีส่วนประกอบอย่างอื่น อันเป็นเครื่องจำกัดค่าสูงสุด ของกระแสไฟใน L_a ไว้แล้ว ค่าของกระแสไฟใน L_a ก็อาจทวีขึ้นต่อไปจนไม่มีที่สิ้นสุด แต่ความจริงหาเป็นไปได้ไม่ เพราะธรรมชาติของการจำกัดเขตต์นั้นเมื่อได้จำแนกอาการสัมพันธ์เกี่ยวข้องกันในองค์ต่าง ๆ ออกแล้ว ก็ย่อมจะให้ความเข้าใจได้ สมมติว่าในขณะเวลาที่กำหนดนั้นอาการจำกัดเขตต์ได้ปรากฏขึ้น คือ เป็นสภาพที่ถึงอาการในเมื่อเพิ่มโปเตนเชี่ยลที่กริดให้สูงขึ้นอีก แต่ก็ไม่ทำให้กระแสไฟใน L_a เพิ่มขึ้นอีกต่อไป ค่าอันผิดปกติของกระแสไฟอันนี้จะไม่คงดำรงอยู่ โดยเหตุที่จะไม่ทำให้มีแรงเคลื่อนชักนำเกิดขึ้นใน L_g ต่อไปอีก ฉะนั้นกระแสไฟจึงต้องตกลงมาอยู่ในค่าเกณฑ์ปกติ แต่ด้วยอาการของอินดัคแตนซ์ในวงจรคือความเฉื่อยทางไฟฟ้า (Electric inertia) ของขดลวดอินดัคแตนซ์นี้ จะทำให้อาการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟคงยืดเวลาต่อไปอีก และในโอกาสเดียวกันได้ช่วยให้การทวีของกระแสไฟคงเพิ่มต่อไปอีก ฉะนั้นการลดน้อยลง ของกระแสไฟในขดลวด L_a จะคงถูกกะตุ้นเข้าอีกจนกะทั่งกระแสไฟที่ไหลในขดลวด L_a ลดต่ำลงเป็นศูนย์ หรือมีตัวจำกัดเขตต์อันใดอันหนึ่งเข้ามาแซกแซง ในทางใช้การจริง การจำกัดเขตต์ต่อไป

ข้างหน้านั้น ไม่มีต่อไปได้ จนกว่ากระแสไฟจักได้ลดต่ำลงมาถึงค่าต่ำสุด เสียก่อน ในขั้นนี้แรงเคลื่อนชักนำจะไม่ทำให้บังเกิดมีอาการตกต่ำของกระแสไฟใน L_a ตามมาด้วย โดยประการที่กล่าวนี้เอง จึงไม่มีเหตุผลอันใดที่แสดงให้เห็นว่า กระแสไฟอันตกต่ำผิดปกตินั้นจะคงต้องดำรงอยู่ ส่วนกระแสไฟตามเกณฑ์ปกติจะมีแค่ใดนั้นย่อมอาศัยค่าของโปเตนเชียลอันมีกำลังสม่ำเสมอกระทำอยู่กับกริดและอาโนดของหลอดเป็นที่ตั้ง ในทันทีทันใดที่มีการเปลี่ยนแปลงของโปเตนเชียลปรากฏขึ้น แต่มิได้ทำให้มีการเปลี่ยนแปลง ของกระแสไฟตามจำนวนที่ควรจะเป็นแล้ว กระแสไฟก็คงพยายามรักษาค่าให้มีถึงค่าตามเกณฑ์ปกติเพื่อคงที่ทรงอยู่ ตามที่กล่าวมาแล้วแต่ข้างต้นว่า การที่มีอินดัคแตนซ์อยู่ในวงจรนั้น ย่อมจะทำให้กระแสไฟทวีค่าไหลสูงขึ้นกว่าเกณฑ์ธรรมดาได้เล็กน้อย ในเมื่อได้มีกระแสไฟไหลผ่านไปครั้งหนึ่ง และการทวีจำนวนความไหลของกระแสไฟนี้จะคงทวีต่อไปจนกระทั่งถึงเขตต์สูงอันผิดปกติ ดังกล่าวแล้วแต่ก่อนอื่นก็ด้วยอาการเช่นนี้กระแสไฟใน L_a จะคงดำเนินเปลี่ยนแปลงค่าอยู่ด้วยขนาดแอมปลิจูดอันวนอยู่กับองค์ต่าง ๆ ที่เป็นผู้จำกัดเขตต์สูงสุดของกระแสไฟ และด้วยฟรีเควนซี่อันใกล้เคียงกับ ฟรีเควนซีธรรมชาติของวงจรกลอกบนอาโนด

ค่าอันแท้จริงของฟรีเควนซีและการหาอาการตามธรรมชาติขององค์ต่าง ๆ ซึ่งเป็นผู้จำกัดแอมปลิจูดของการเปลี่ยนแปลงในกระแสไฟนั้น จะเปิดให้เห็นได้แจ่มแจ้งโดยการจำแนกอาการต่าง ๆ ทั้งในทางเลข และคำอธิบายประกอบดังต่อไปนี้

กระแสไฟใน L_a นั้น ประกอบด้วยองค์ประกอบสององค์ คือ กระแสไฟอันมีค่าสม่ำเสมอคงที่ หรือเรียกว่ากระแสไฟตรงแทนด้วย I_a องค์หนึ่ง กระแสไฟนี้จะมีค่าคงที่สม่ำเสมอได้แน่นอนเพียงใดนั้น ย่อมแล้วแต่ความสม่ำเสมอแน่นอน ของโปเตนเชียลที่กระทำแก่อาโนด U_a และโปเตนเชียลที่กระทำแก่กริด U_g เป็นเกณฑ์ กับกระแสไฟกลอกอันเรียกว่าองค์ประกอบในทางกระแสไฟสลับฟริเควนซีสูงซึ่งแทนด้วย $\Im_L$ อีกองค์หนึ่ง ส่วนคอเดนเซอร์ C_a นั้น คงมีแต่กระแสไฟกลอก $\Im_C$ อย่างเดียวไหลผ่าน ฉะนั้นกระแสไฟอาโนดจึงต้องประกอบด้วยกระแสไฟอันมีค่าประจำสม่ำเสมอ ซึ่งเรียกว่ากระแสไฟตรง I_a และ กระแสไฟอันมีค่าเปลี่ยนแปลงหรือเรียกว่ากระแสไฟกลอก $\Im_a$ อันเป็นผลรวมพิชคณิตของกระแสไฟ $\Im_L$ กับ $\Im_C$

ถ้ากระแสไฟ I_a ทวีขึ้นด้วยจำนวน $\Im_a$ อาการตกของโปเตนเชียลในระหว่างวงจรที่ออกแรงทำงาน (Load circut) บนอาโนดของหลอดก็จะทวีขึ้นตามส่วน โดยเหตุที่โปเตนเชียลตกต่ำลงระหว่างหลอดและวงจรภายนอกหลอดนั้นประจำ และมีค่าเท่ากันกับโปเตนเชียล ของแบตเตอรี่อันกระทำแก่หลอด คือ U_a จำนวนกระแสไฟ $\Im_a$ ที่เพิ่มขึ้นในกระแสไฟ I_a นั้นจักต้องบังเกิดมีการตกต่ำ ของโปเตนเชียล u_a ขึ้นในโปเตนเชียล U_a อาการเปลี่ยนแปลงของโปเตนเชียลที่อาโนด u_a นี้ มีอาการต่างเฟสกับการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟอาโนด $\Im_a$ อยู่เป็นจำนวนประมาณ 180° โดยเหตุที่กระแสไฟอาโนดทวีขึ้นในเมื่อแรงเคลื่อนที่กริดทวีมากขึ้น ฉะนั้น u_a จึงต่างเฟสกับการเปลี่ยนแปลง ของโปเตนเชียลที่กริด คือ u_g อยู่

ประมาณ 180° เหมือนกัน การเปลี่ยนแปลงในโปเตนเชี่ยลขององค์ประกอบสององค์นี้ กำหนดให้แทนด้วย u_a และ u_g ตามลำดับ ซึ่งจะกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ แรงเคลื่อนไฟสลับที่กระทำแก่อาโนดนั้นคือ u_a และแรงเคลื่อนไฟสลับที่กระทำแก่กริดคือ u_g

เพื่อที่จะทำให้วิธีจำแนกอาการต่าง ๆ ง่ายขึ้น จึงขอสมมติส่วนต่าง ๆ ไว้ในชั้นแรกนี้เสียด้วยว่า กระแสไฟนั้นสมมติให้เปลี่ยนแปลงค่าได้ส่วนเป็นเส้นตรงสัมพันธ์กับโปเตนเชี่ยล คือว่าจะขอพิจารณาแต่การเปลี่ยนแปลงของโปเตนเชี่ยลอันมีค่าน้อย ๆ เท่านั้น และเขตต์ทำงานของเส้นลักษณะของหลอดนั้นถือว่าเป็นเส้นตรงได้อย่างใกล้เคียง สมการของกระแสไฟสม่ำเสมอ I_a อันสัมพันธ์อยู่กับโปเตนเชี่ยลของกริดและโปเตนเชี่ยลของอาโนดนั้นมีรูปร่างที่เขียนได้ $I_a = K_1 U_g + K_2 U_a$ เมื่อ K_1 และ K_2 เป็นตัวประจำที่หาได้ตามชะนิดของหลอด ซึ่งมีค่าเท่ากับ $\frac{d I_a}{d U_g}$ กับ $\frac{d I_a}{d U_a}$ ตามลำดับ ค่าของ K_1 และ K_2 ตามที่กำหนดขึ้นนี้ถ้าจะเทียบกับตัวประจำของหลอดก็คงมีค่าเป็น $K_1 = S\,;\, K_2 = \frac{1}{R_i}$

$\frac{K_1}{K_2} = \frac{d I_a}{d U_a} \cdot \frac{d U_a}{d I_a} = \frac{d U_a}{d U_g} = \mu_o = \frac{1}{D}$ และในทำนองเดียวกัน

ก) $I_a = K_1 U_g + K_2 U_a$

ข) $I_a + \mathfrak{I}_a = K_1 (U_g + u_g) + K_2 (U_a + u_a)$

เมื่อเอาสมการ (ก) ลบออกจาก (ข) แล้วได้ผลลัพธ์เป็น

$$I_a = K_1 u_g + K_2 u_a \quad \cdots \quad (185)$$

สำหรับการเปลี่ยนแปลงของค่าต่าง ๆ เป็นจำนวนเพียงน้อย ๆ สมการข้างต้นก็อนุโลมตามสมการหลักของเลขได้โดยตรง คือ

$$\delta I_a = \frac{d I_a}{d U_g} \cdot \delta U_g + \frac{d I_a}{d U_a} \cdot \delta U_a$$

ในที่นี้ค่าของ $\delta I_a = \Im_a$; $\delta U_g = u_g$; และ $\delta U_a = u_a$

เมื่อตัดทอนการกระจายเลขอันอาศัยหลักของการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟและแรงเคลื่อนอันเป็นจำนวนน้อย ๆ แปลงเอามาใช้กับการเปลี่ยนแปลงอันเป็นจำนวนมากนั้น จำเป็นจักต้องใช้ความพิจารณาโดยระมัดระวัง เพราะเหตุว่าถ้าหลอดทำงานในเขตต์ที่เส้นโค้งลักษณะไม่มีลักษณะเป็นเส้นตรงแล้วก็ย่อมจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนออกไปอีก

สำหรับในกระแสไฟกริด ก็ขอสมมติให้มีลักษณะอย่างเดียวกันกับที่กล่าวมาแล้วกับอาโนด คือ

$$\boxed{\Im_g = K_3 u_g + K_4 u_a} \quad \ldots\ldots\ (186)$$

ถ้าเราทำการสมมติต่อไปว่า กระแสไฟกริดมีค่าน้อย เมื่อเปรียบกับค่าของกระแสไฟอาโนดแล้วต่างกันมาก จึงอาจตัดทิ้งเสียได้ แล้วสมการ (186) และเทอมของเลขที่มี i_L ปรากฏอยู่ในสมการ (188), (189), (190) นั้นอาจตัดทิ้งเสียได้ ส่วนแคแปซิตี้ในระหว่างอิเลคโทรดของหลอดสามอิเลคโทรดนั้น ในขณะนี้ไม่ขอนำเอามาพิจารณาด้วย ฉะนั้นจึงได้สมการ

$$\boxed{\Im_a = \Im_L + \Im_C} \quad \ldots\ \ldots\ \ldots\ (187)$$

ซึ่งอนุโลมตามวิเคราะห์ความหมายที่กำหนดมาแล้วแต่แรก เมื่อจัดสมการของการเปลี่ยนแปลงโปเตนเชียลในวงจรภายนอกด้วยค่าของ u_a และ u_g ตามลำดับแล้วจะได้

$$u_a = -\left(R_a \tilde{s}_L + L_a \frac{d\tilde{s}_L}{dt} + M \frac{d i_L}{dt}\right) \quad \ldots\ldots (188)$$

และ $$u_g = -\left(\dot{R}_g i_L + L_g \frac{d i_L}{dt} + M \frac{d\tilde{s}_L}{dt}\right) \quad \ldots\ldots (189)$$

กับ $$\tilde{s}_C = -\ C_a \frac{d u}{dt} = C_a \left(R \frac{d\tilde{s}_L}{dt} + L_a \frac{d^2\tilde{s}_2}{dt^2} + M \frac{d^2 i_L}{dt^2}\right) \quad (190)$$

โดยแทนค่าต่าง ๆ ที่ได้จากสมการ (187), (188), (189) และ (190) ลงในสมการ (185) และตัดเทอมต่าง ๆ ที่มี i_E อยู่ด้วยออกเสียจะได้

$$\tilde{s}_a = K_1 u_g + K_2 u_a$$

$$\tilde{s}_L + \tilde{s}_C = K_1 u_g + K_2 u_a$$

$$\tilde{s}_L + C_a \left(R_a \frac{d\tilde{s}_L}{dt} + L_a \frac{d^2\tilde{s}_L}{dt^2}\right) = -K_1 \left(O + M \frac{d\tilde{s}_L}{dt}\right) - K_2 \left(R_a \tilde{s}_L + L_a \frac{d\tilde{s}_L}{dt}\right)$$

$$\tilde{s}_L + R_a C_a \frac{d\tilde{s}_L}{dt} + L_a C_a \frac{d^2\tilde{s}_2}{dt^2} + K_1 M \frac{d\tilde{s}_L}{dt} + K_2 R_a \tilde{s}_2 + K_2 L_a \frac{d\tilde{s}_L}{dt} = 0$$

$$\left(\tilde{s}_L + K_2 R_a \tilde{s}_L\right) + L_a C_a \frac{d^2\tilde{s}_L}{dt^2} + \left(C_a R_a \frac{d\tilde{s}_L}{dt} + K_2 L_a \frac{d\tilde{s}_L}{dt} + K_1 M \frac{d\tilde{s}_L}{dt}\right) = 0$$

$$L_a C_a \frac{d^2 \mathfrak{I}_L}{dt} + (C_a R_a + K_2 L_a + K_1 M) \frac{d \mathfrak{I}_L}{dt} + (1 + K_2 R_a) \mathfrak{I}_L = 0$$

.. .. (191)

สมการนี้อาจเปรียบเทียบกับสมการ (192) ในหน้า ๔๐๗

$$RI + L \frac{dI}{dt} + \frac{1}{C} \int I \, dt = 0$$

ซึ่ง $\mathfrak{I}_L$ ในสมการ (191) นั้นแทนกระแสไฟก็ลอกได้ ถ้าเมื่อรู้ทของ Auxiliary equation เป็นอิมเมยินารี่ พฤติภาพสำหรับสมการนี้จะเป็น

$$(C_a R_a + K_2 L_a + K_1 M)^2 < 4 L_a C_a (1 + K_2 R_a)$$

ซึ่งอาจเขียนเป็น

$$\left[(C_a R_a + K_2 L_a + K_1 M) + 2\sqrt{L_a C_a (1 + K_2 R_a)} \right]$$

$$\left[(C_a R_a + K_2 L_a + K_1 M) - 2\sqrt{L_a C_a (1 + K_2 R_a)} \right] < 0,$$

โดยเหตุนี้ M จักต้องอยู่ในระหว่างค่า

$$-\frac{1}{K_1} \left[(C_a R_a + K_2 L_a) + 2\sqrt{L_a C_a (1 + K_2 R_a)} \right] \text{ กับ}$$

$$-\frac{1}{K_1} \left[(C_a R_a + K_2 L_a) - 2\sqrt{L_a C_a (1 + K_2 R_a)} \right]$$

เครื่องหมายลบข้างบนนี้ ชี้ให้เห็นว่าอาการกลอกจะไม่บังเกิดขึ้นได้เป็นอันขาด ถ้าเมื่อทิศพันขดลวด L_a ไม่อยู่ในอาการตรงข้ามกับทิศพันของขดลวด L_a ความจำเป็นที่จักต้องให้ทิศพันขดลวดทั้งสองนี้อยู่ในลักษณะสัมพันธ์กันอย่างไรจึงจะทำให้เกิดการกลอกนั้น ได้วิจารณ์กันมาแล้วแต่ตอนต้น

เซตต์บนและเซตต์ล่างที่กำหนดค่าของ M นั้นก็นับว่าสำคัญเหมือนกัน แต่หาได้มีการพิจารณาถึงธรรมชาติของการกลอุกซึ่งเกิดขึ้นได้ในระหว่างเซตต์เหล่านี้ไม่ เมื่อต้องพิจารณาถึงปัญหาอันเกี่ยวแก่การทำให้เกิดคลื่นติดต่อหรือเรียกว่าคลื่นคงขนาดเท่านั้นจึงจะนับว่าการกลอกโดยไม่เสื่อมทรุดเป็นสิ่งสำคัญ เพราะการกลอกโดยไม่เสื่อมทรุดนี้จะบังเกิดมีขึ้นในวงจรได้ก็แต่ในเมื่อความต้านทานโอมเป็นศูญ หรือน้อยกว่าศูญ

ครั้นเปรียบเทียบสมการ (191) นี้กับสมการ (192) ในหน้า ๔๐๗ ดูแล้ว ก็ย่อมจะมองเห็นได้ว่า สำหรับการกลอกโดยไม่เสื่อมทรุดนั้น โคเอฟพี่เชี่ยนท์ของ $\frac{d\mathfrak{F}_L}{dt}$ ต้องเป็นศูญหรือเป็นลบ คือหมายความว่า $C_a R_a + K_2 L_a + K_1 M$ จะต้องเป็นศูญหรือเป็นลบ ในลักษณะที่ค่าของโคเอฟพีเชี่ยนท์เป็นลบนั้น การกลอกจะทำให้แอมปลิจูดทวีขึ้นโดยเหตุนี้ สำหรับการกลอกโดยไม่เสื่อมทรุดจึงเป็น

$$(C_a R_a + K_2 L_a + K_1 M) \overset{=}{<} O$$

หรือ

$$M \overset{=}{<} -(C_a R_a + K_2 L_a)/K_1 \quad \cdot\cdot \quad \cdot\cdot \quad (192))$$

ค่าของ M ณที่นี้อยู่ตรงกึ่งกลางในระหว่างเซตต์สองเซตต์ที่กล่าวแล้วสำหรับการกลอกทุกลักษณะ หรือจะเป็นการกลอกเสื่อมทรุด (Damped) หรือไม่เสื่อมทรุด (Undamped) ก็ตาม โดยเหตุนี้

สำหรับการทำให้บังเกิดการกลอกไม่เสื่อมทรุดนั้นจักต้องมีค่าอยู่ใน
ระหว่าง $-(C_a R_a + K_2 L_a)/K_1$ กับ

$$-\left[(C_a R_a + K_2 L_a) + 2\sqrt{L_a C_a (1+K_2 R_a)}\right]/K_1$$

การหาค่าดีที่สุดของความสัมพันธ์ในส่วนต่าง ๆ ข้างบนนี้ท่าน Van Aalst* เป็นผู้ทำการทดลองสอบส่วนปรากฏผลว่าถูกต้องอยู่ภายในเขตต์แห่งอัตราผิดของการทดลองที่ควรจะมี

ในตอนที่สามของบทนี้ เป็นตอนกล่าวถึงเขตต์จำกัดของกระแสไฟแสดงว่า กระแสไฟกลอกสูงสุดบังเกิดขึ้นเมื่อค่าตามตัวเลขของ M ขยับโตกว่า $(C_a R_a + K_2 L_a)/K_1$ และเมื่อ $C_a R_a = K_2 L_a$ โดยเหตุนี้ การที่จะทำให้เกิดกระแสไฟกลอกสูงสุดนั้น M จักต้องเป็นลบและจักต้องขยับตัวมีค่าเกินกว่า $\frac{2 C_a R_a}{K_1}$ หรือ $\frac{2 L_a}{\mu_\delta}$ หมายความถึงค่าตามตัวเลข

เมื่อไม่คิดถึงการเสื่อมกำลังเข้าด้วยแล้ว ก็จะหาค่าของฟรีเควนซีที่บังเกิดขึ้น $\omega/2\pi$ นี้ได้โดยตรงจากสมการ (191) โดยให้

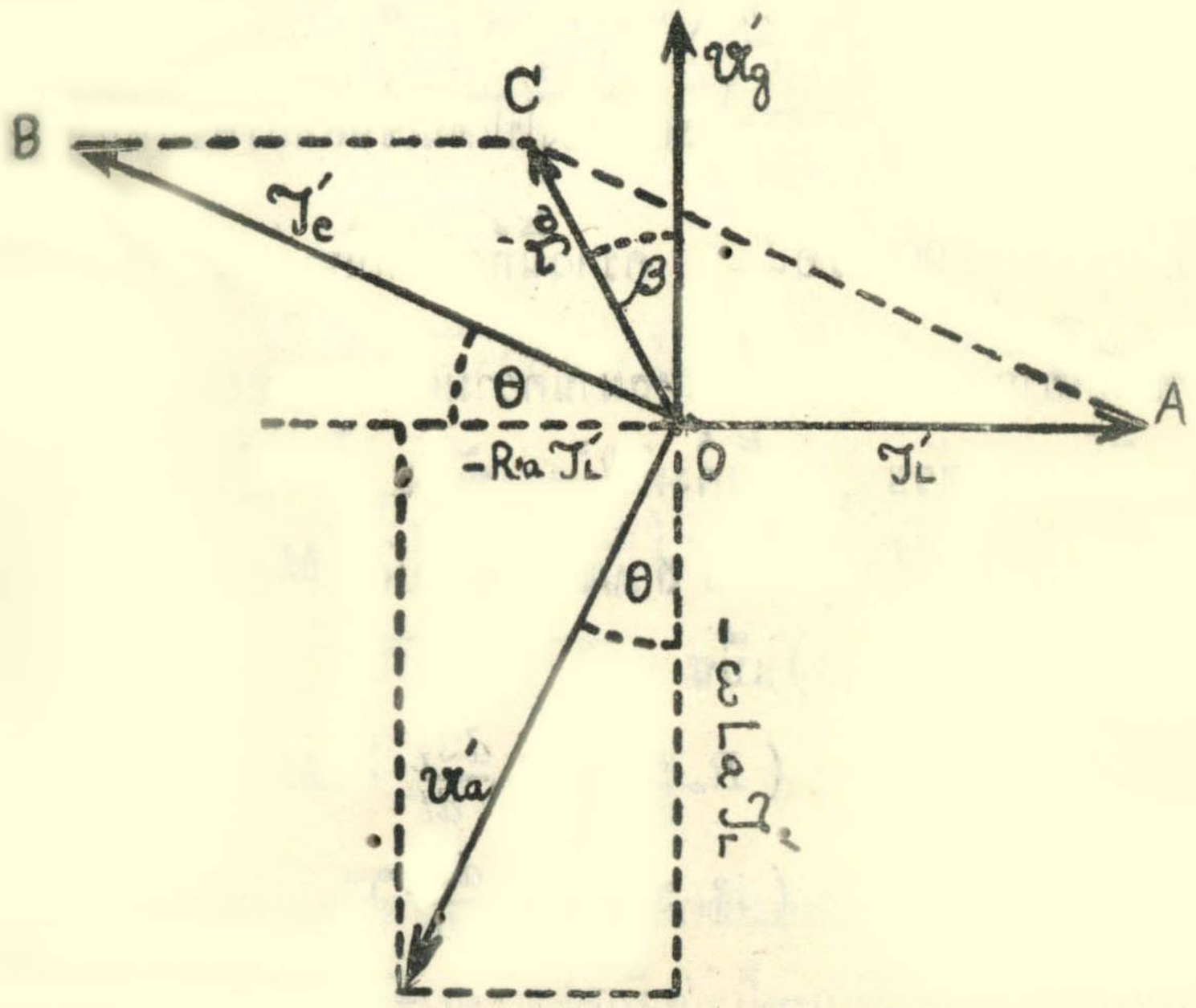
$$\omega \sim \sqrt{\frac{1+K_2 R_a}{L_a C_a}} \approx \frac{1}{\sqrt{L_a C_a}}$$

โดยที่ค่าของ $K_2 R_a$ นี้มีค่าอยู่ในขนาด 10^{-5} ซึ่งนับว่าเป็นค่าเมื่อเปรียบกับหน่วยแล้วเล็กกว่ากันมาก เพราะฉะนั้นจึงอาจตัดทิ้งเสียได้ และฟรีเควนซีที่ส่งแผ่ออกจากออสซิเลเตอรนี้จึงคำนวณหาได้โดยตรงจากค่าของอินดัคแตนซและแคแปซิตี้ในวงจรกลอกอาโนดที่เดียว ผลลัพธ์

---

* Comptes Rendus, December 26, 1922, p. 1397

เหล่านี้ย่อมรับรองว่าถูกต้องจริงโดยการทดลอง แต่การวัดเขตต์ต่ำของ M ให้ถูกต้องนั้น สำหรับทางปฏิบัติย่อมไม่สามารถจะทำได้ เพราะเหตุว่ากระแสไฟกลอกลดน้อยลงโดยรวดเร็วในเมื่อค่าของ M ทวีขึ้น (ตามพิชคณิต) และค่าของ M ในเมื่อกวรกลอกได้หยุดลงก็ไม่สามารถจะหาได้ด้วย



รูป ๒๒๐ แสดงความสัมพันธ์ในทางเฟสระหว่างกระแสไฟกลอกและกำลังดันในหลอดออสซิเลเตอร์.

ความสัมพันธ์ของมุมเฟสในระหว่างกระแสไฟกลอกกับแรงดันในออสซิเลเตอร์ที่ใช้หลอดแบบนี้ อาจมองเห็นได้แจ่มแจ้งโดยการพิจารณาปัญหาตามหลักของเวคเตอร์

สมมติให้กระแสไฟกลอกแทนด้วย $\mathfrak{s}'_L$ อันมีรูปร่างเป็น $\mathfrak{s}'_L \sin \omega t$ อัน แทนด้วยเส้น OA ดังในรูปแล้ว

$$u_g = - M \frac{d\mathfrak{s}_L}{dt}$$

$$= (- M) \mathfrak{s}'_L \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)$$

$$= u'_g \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)$$

คือว่า คอมโปเนนต์แห่งการกลอกของโปเตนเชียลที่กริดขึ้นหน้ากระแสไฟ $\mathfrak{s}'_L$ อยู่เป็นมุม 90° หรือ $\frac{\pi}{2}$ คราวนี้ก็คงดำเนินเช่นเดียวกันกับครั้งก่อน คือตัดเอากระแสไฟกริดซึ่งไหลผ่านความต้าน R_g ออกเสีย โดยไม่นำเข้ามาพิจารณาด้วย ฉะนั้นจึงทำให้แรงดัน u_g ขึ้นหน้ากระแสไฟ $\mathfrak{s}_L$ เป็นมุมน้อยกว่า 90° สักเล็กน้อย ส่วนแรงดันที่เปลี่ยนแปลงค่าคือ u_a นั้น กำหนดตามสมการ (188) เป็น

$$u_g = - \left(R_a \mathfrak{s}_L + L_a \frac{d\mathfrak{s}_L}{dt} + M \frac{di_L}{dt} \right)$$

$$= - \left(R_a \mathfrak{s}_L + L_a \frac{d\mathfrak{s}_L}{dt} \right)$$

$$= - R_a \mathfrak{s}'_L \sin \omega t - \omega L_a \mathfrak{s}'_L \cos \omega t$$

โดยเหตุที่ $tg \theta = \frac{R_a}{\omega L_a}$; $\omega L_a = R_a \frac{\cos \theta}{\sin \theta}$

$$\therefore u_a = - R_a \mathfrak{s}'_L \sin \omega t - R_a \mathfrak{s}'_L \frac{\cos \theta}{\sin \theta} \cos \omega t$$

$$= \frac{- R_a \mathfrak{s}'_L \sin \omega t \sin \theta - R_a \mathfrak{s}'_L \cos \omega t \cos \theta}{\sin \theta}$$

$$= - \frac{R_a \; \mathfrak{z}_L'}{sin\ \theta} \left(sin\omega t\, sin\theta \; + cos\,\omega t\, cos\,\theta \; \right)$$

$$= - \frac{R_a \; \mathfrak{z}_L}{sin\,\theta} \cdot cos\,(\,\omega t - \theta\,) = \frac{R_a \; \mathfrak{z}_L}{sin\,\theta} \; sin\,(\,\omega t - \frac{\pi}{2} - \theta\,)$$

เนื่องจาก $\sqrt{1 + ctg^2\,\theta} = \frac{1}{sin\,\theta} = \sqrt{1 + \frac{\omega^2 L_a^2}{R_a^2}}$

$$\frac{1}{sin\,\theta} = \sqrt{\frac{R_a^2 + \omega^2 L_a^2}{R_a}}$$

จึงได้

$$u_a = \sqrt{1 + ctg^2\,\theta} \cdot R_a \cdot \mathfrak{z}_L\, sin\,(\,\omega t - \frac{\pi}{2} - \theta\,)$$

$$u_a = \sqrt{1 + \left(\frac{\omega L_a}{R_a}\right)^2} \cdot R_a \;\; \mathfrak{z}_L'\, sin\,(\,\omega t - \frac{\pi}{2} - \theta\,)$$

$$u_a = \sqrt{R_a + \omega^2 L_a^2} \cdot \mathfrak{z}_L'\, sin\,(\,\omega t - \frac{\pi}{2} - \theta\,)$$

$$u_a = u'\; sin\;(\,\omega t - \frac{\pi}{2} - \theta\,)$$

ถ้า $R_a \ll \omega L_a$ ดังที่ปรากฏในรายกระแสฟรีเควนซีสูงแล้ว $\theta \approx O$ และ u_a กับ u_g นั้นก็ต้องต่างเฟสกันอยู่เป็นมุมที่ถือทางใช้การว่าเท่ากับ 180° การสรุปผลข้างต้นนี้ได้ตัดสินเด็ดขาดมาแล้วแต่ในชั้นแรก ซึ่งเป็นเรื่องพิจารณาถึงหลอดออสซิเลเตอรแบบนี้มาก่อนอื่น

กระแสไฟ $\mathfrak{z}_c$ นี้กำหนดให้แทนด้วยเวคเตอร์ OB ซึ่งถ้าหลังแรงเคลื่อน u_a อยู่เป็นมุม 90° อาการเช่นนี้มองเห็นได้จากการแทนค่าต่าง ๆ ลงในสมการ (190) คือ

$$\mathfrak{z}_c = -\, C_a \frac{d\mathfrak{u}_a}{dt}$$

$$= -\, C_a \frac{d}{dt}\left[\sqrt{R_a^2 + \omega^2 L_a^2}\,) \cdot \mathfrak{z}_L' \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2} - \theta\right)\right]$$

$$= \omega C_a \sqrt{R_a^2 + \omega^2 L_a^2}\; \mathfrak{z}_L' \sin\left(\omega t + \pi - \theta\right)$$

$$= \omega\, C_a \cdot \mathfrak{u}_a' \sin\left(\omega t + \pi - \theta\right)$$

$$= \frac{\mathfrak{u}_a'}{\frac{1}{\omega C_a}} \sin\left(\omega t + \pi - \theta\right.$$

$$\mathfrak{z}_c = \mathfrak{z}_c' \sin\left(\omega t + \pi - \theta\right)$$

$\mathfrak{z}_a$ เป็นผลรวมของเวคเตอร์ $\mathfrak{z}_L$ กับ $\mathfrak{z}$ แทนด้วยเวคเตอร์ OC เมื่อใช้สมการ (185) จะได้

$$\mathfrak{z}_a = K_1\, \mathfrak{u}_g + K_2\, \mathfrak{u}_a$$

$$\mathfrak{z}_a = K_1\, \omega\, (-M)\, \mathfrak{z}_L' \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

$$+ K_2 \sqrt{\left(R_a^2 + \omega^2 L_a^2\right)} \cdot \mathfrak{z}_L' \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2} - \theta\right)$$

$$= K_1\, \omega\, (-M)\; \mathfrak{z}_L' \cos\omega t$$

$$+ K_2 \left\{ -\, R_a\; \mathfrak{z}_L' \sin\omega t - \omega L_a\; \mathfrak{z}_L' \cos\omega t \right\}$$

$$= -\, K_1 \omega\, M\; \mathfrak{z}_L' \cos\omega t - K_2\, R_a\, \mathfrak{z}_L' \sin\omega t$$

$$- K_2\, \omega\, L_a \mathfrak{z}_L' \cos\omega t$$

ให้ $\frac{K_1}{K_2}$

ให้ $\frac{K_1}{K_2} = \mu_o ; K_1 = \mu_o \cdot K_2$

$$\Im_a = -\mu_o K_2 \omega M \Im_L' \cdot cos\omega t - K_2 R_a \Im_L' sin\omega t$$

$$- K_2 \omega L_a \Im_L' cos\omega t$$

$$= - K_2 \Im_L' \left[(L_a + \mu_o M)\, \omega\, cos\omega t + R_a sin\omega t \right]$$

โดยที่ $$tg\beta = \frac{R_a}{-\omega (L_a + \mu_o M)}$$

$$R_a = - \omega (L_a + \mu_o M) \frac{sin\beta}{cos\beta}$$

$$- \omega (L_a + \mu_o M) = \frac{R_a cos\beta}{sin\beta}$$

$$\therefore \Im_a = K_2 \Im_L' \left[- \omega (L_a + \mu_o M) cos\omega t \right.$$

$$\left. + \omega (L_a + \mu_o M) \frac{sin\omega t\, sin\beta}{cos\beta} \right]$$

$$= K_2 \Im_L' \omega (L_a + \mu M)$$

$$\left[\frac{- cos\omega t\, cos\beta + sin\omega t\, sin\beta}{cos\beta} \right]$$

$$= K_2 \Im' \omega (L_a + \mu_o M)$$

$$\left[- (cos\omega t cos\beta - sin\omega t\, sin\beta) \right] \cdot \sqrt{1 + tg^2\beta}$$

$$= K_2 \Im_L' \omega (L_a + \mu_o M) \left[cos (\omega t + \beta \right] \cdot$$

$$\left[\sqrt{\frac{R_a^2 + \omega^2 (L_a + \mu_o M)^2}{\omega (L_a + \mu_o M)}} \right]$$

$$\mathfrak{z}_a = K_2\,\mathfrak{z}_L' \cdot \sqrt{R_a^2 + \omega^2\,(L_a + \mu_o M)^2}$$

$$\left[-\cos\,(\omega t + \beta \right]$$

$$\mathfrak{z}_a = K_2 \sqrt{R_a^2 + \omega^2\,(L_a + \mu_o M)^2}.$$

$$\mathfrak{z}_L' \sin\,(\omega t + \frac{\pi}{2} + \beta)$$

หรือ

$$\mathfrak{z}_a = \mathfrak{z}_a' \sin\,(\omega t + \frac{\pi}{2} + \beta)$$

ในเมื่อ $$\beta = arctg \frac{R_a}{-\omega(L_a + \mu_o M)}$$

สำหรับการจำแนกอาการของหลอดออสซิเลเตอร์อันละเอียดแน่นอนลงไปอีกนั้น ย่อมไม่ตัดเอากระแสไฟกริดออกจากข่ายพิจารณา เพราะฉะนั้นจึงจำเป็นต้องเอาเทอมที่มี i_L อยู่ในสมการ (188), (189), (190) เข้ามาเกี่ยวด้วย เมื่อแทนค่าต่าง ๆ ของสมการที่กล่าวนี้ลงในสมการ (185) ก็จะได้ค่าเป็น

$$\mathfrak{z}_a = K_1 u_g + K_2 u_a$$

$$\mathfrak{z}_a = -K_1 \left((R_g i_L + L_g \frac{di_L}{dt} + M \frac{d\mathfrak{z}_L}{dt} \right)$$

$$- K_2 \left(R_a \mathfrak{z}_L + L_a \frac{d\mathfrak{z}_L}{dt} + M \frac{di_L}{dt} \right)$$

$$\mathfrak{z}_L + C_a \left(R_a \frac{d\mathfrak{z}_L}{dt} + L_a \frac{d^2\mathfrak{z}}{dt^2} + M \frac{d^2 i_L}{dt^2} \right)$$

$$+ K_1 \left(R_g i_L + L_g \frac{di_L}{dt} + M \frac{d\mathfrak{z}_L}{dt} \right)$$

$$+ K_2 \left(R_a \mathfrak{z}_L + L_a \frac{d\mathfrak{z}_L}{dt} + M \frac{di_L}{dt} \right) = 0$$

$$L_a C_a \frac{d^2 \Im_L}{dt^2} + \left(C_a R_a + K_2 L_a + K_1 M \right) \frac{d \Im_L}{dt}$$

$$+ (1 + K_2 R_a) \Im_L + M C_a \frac{d^2 i_L}{dt^2}$$

$$+ (K_1 L_g + K_2 M) \frac{di_L}{dt} + K_1 R_g i_L = O$$

ถ้าแทนค่าของสมการ (188) และ (189) ลงในสมการ (186) จะได้

$$\Im_g = K_3 u_g + K_4 u_a$$

$$\Im_g = K_3 \left(R_g i_L + L_g \frac{di_L}{dt} + M \frac{d\Im_L}{dt} \right)$$

$$- K_4 \left(R_a L_a + L_a \frac{d\Im_L}{dt} \right)$$

แต่ $\Im_g = i_L$

$$\therefore i_L + K_3 \left(R_g i_L + L_g \frac{di_L}{dt} + M \frac{d\Im_L}{dt} \right)$$

$$+ K_4 \left(R_a L_a + L_a \frac{d\Im_L}{dt} + M \frac{di_L}{dt} \right) = 0$$

$$\left(K_4 L_a + K_3 M \right) \frac{di_L}{dt} + K_4 R_a L_a$$

$$+ \left(K_3 L_g + K_4 M \right) \frac{di_L}{dt} + \left(1 + K_3 R_g \right) i_L = 0$$

ถ้าสมการเหล่านี้ เป็นไปตามฟังชั่นของไซนุ อันไม่เสื่อมทรุด (Undamped sine function) แล้ว ก็อาจใช้ค่าของโอเปอเรเตอร์ $\frac{d}{dt}$ แทนด้วย $j\omega$ ได้ และ $2\pi/\omega$ นี้คือระยะเวลาบรรจบแห่ง

การกลอก เมื่อได้แทนค่าลงและจัดเอาเรโช $\mathfrak{F}_L : i_L$ ออกเสียแล้วก็จะได้ค่าจริงของ ω อันต้องสมจริงตามสมการต่อไป แต่ขอให้จำไว้ด้วยว่า $K_1 K_4 - K_2 K_3 = O$ โดย $\mu_o = \frac{dU_a}{dU_g} = \frac{dI}{dU_g} \Big/ \frac{dI}{dU_a}$ หรือ $\frac{dI_g}{dU_g} \Big/ \frac{dI_g}{dU_a} = \frac{K_1}{K_2}$ หรือ $\frac{K_3}{K_4}$ ที่เป็นตามนี้ได้ตลอดเวลาที่ยังไม่มีการอิ่มตัวของกระแสไฟบังเกิดขึ้น ค่าของ K_4 สำหรับ U_a มีค่าเป็นบวกนั้น K_4 ต้องเป็นลบ

การกระจายสมการเพื่อแทนค่าของ $\mathfrak{F}_L : i_L$ ลงในนามของตัวประจำก่อนอันอื่นนั้นได้แสดงไว้ข้างล่างนี้ด้วย คือ

$$L_a C_a \mathfrak{F}_L j^2 \omega^2 + (C_a R_a + K_2 L_a + K_1 M) \mathfrak{F}_L j\omega + (1 + K_2 R_a) \mathfrak{F}_L + M C_a i_L j^2 \omega^2 + (K_1 L_g + K_2 M) i_L j\omega + K_1 R_g i_L = O$$

$$L_a C_a j^2 \omega^2 \frac{\mathfrak{F}_L}{i_L} + \left(C_a R_a + K_2 L_a + K_1 M \right) \frac{\mathfrak{F}_L}{i_L} j\omega + \left(1 + K_2 R_a \right) \frac{\mathfrak{F}_L}{i_L} + M C_a j^2 \omega^2 + \left(K_1 L_g + K_2 M \right) j\omega + K_1 R_g = O \quad \cdots \quad (a)$$

$$(K_4 L_a + K_3 M) \mathfrak{F}_L j\omega + K_4 R_a \mathfrak{F}_L + (K_3 L_g + K_4 M) \mathfrak{F}_L j\omega + (1 + K_3 R_g) i_L = O \quad \cdots \quad (b)$$

$$\frac{\mathfrak{F}_L}{i_L} \left\{ L_a C_a j^2 \omega^2 + (C_a R_a + K_2 L_a + K_1 M) j\omega + (1 + K_2 R_a) \right\} = -(M C_a j^2 \omega^2 + K_1 L_g + K_2 M) j\omega + K_1 R_g$$

$$\frac{\mathfrak{S}_L}{i_L}\left\{(K_4 L_a + K_3 M) j\omega + K_4 R_a\right\}$$

$$= -\left\{(K_3 L_g + K_4 M) j\omega + (1 + K_3 R_g\right\}$$

$$\frac{\mathfrak{S}_L}{i_L} = -\frac{\left\{(K_3 L_g + K_4 M)\ j\omega + (1 + K_3 R_g)\right\}}{\left\{(K_4 L_a + K_3 M)\ + K_4 R_a)\right\}}$$

เมื่อแทนค่าของ $\frac{\mathfrak{S}_L}{i_L}$ ลงในสมการ (a) แล้วจะได้

$$\frac{\left\{(K_3 L_g + K_4 M) j\omega\ +\ (1 + K_3 R_g)\right\}}{\left\{(K_4 L_a + K_3 M) + K_4 R_a\right\}}\left\{L_a C_a j^2 \omega^2\right.$$

$$\left. + (C_a R_a + K_2 L_a + K_1 M) j\omega\ +\ (1 + K_2 R_a)\right\}$$

$$= -\ (M C_a j^2\omega^2 + K_1 L_g + K_2 M) j\omega + K_1 R_g$$

ทำสมการข้างบนนี้ด้วยวิธีเฉดตามธรรมดา ก็จะได้รับผลในที่สุดเป็น

$$j^3 \omega^3 K_3 C_a (L_a L_g - M^2) + j^2 \omega^2 C_a (L_a + K_3 R_g L_a + K_3 R_a L_g)$$

$$+ j\omega\ (K_2 L_a + K_3 L_g + \overline{K_1 + K_4} \cdot M + C_a R_a \cdot \overline{1 + K_3 R_g})$$

$$+ K_2 R_a + K_3 R_g = O$$

สมการข้างบนนี้ทอนลงให้เข้ารูปสมการ(191)ได้โดยใส่ $K_3 = K_4 = 0$ และบรรดาเทอมที่เหมือน $K_3 R_g$ นั้นมีค่าเล็กกว่าหนึ่งอยู่เป็นอันมาก จึงอาจตัดทิ้งเสียได้ ฉะนั้นจึงได้สมการเป็น

$$j^3\ \omega^3 K_3 C_a (L_a L_g - M^2) + j^2 \omega^2 L_a C_a$$

$$+ j\omega (K_2 L_a + K_3 L_g + \overline{K_1 + K_2} \cdot M + C_a R_a) + 1 = O$$

สมการข้างบนนี้อาจเขียนย่อลงเป็น

$$j^3\omega^3 A_1 + j^2\omega^2 A_2 + j\omega A_3 + A_4 = 0$$

ซึ่ง A_1, A_2, A_3 และ A_4 เป็นโคเอฟฟีเชียนท ของเลขกำลังของ $j\omega$ เมื่อนำสมการนี้เขียนลงเป็นรูป

$$j\omega(j^2\omega^2 A_1 + A_3) + j^2\omega^2 A_2 + A_4 = 0$$

จึงเห็นได้ชัดว่า จะเป็นไปได้ก็แต่เมื่อค่าจริงของ ω เหมาะสมกัน คือถ้า ω สมจริงตามสมการทั้งสองนั้นเท่านั้น และผลที่ได้จึงเป็น

$$j^2\omega^2 A_1 + A_3 = 0$$

และ

$$j^2\omega^2 A_2 + A_4 = 0$$

ลกษณะที่สมการทั้งสองนี้จะสมจริงได้ในโอกาสเดียวทั้งคู่นั้น คือ

$$\frac{A_3}{A_1} = \frac{A_4}{A_2}$$

เมื่อลักษณะอันนี้สมจริง ทั้งการกลอกโดยไม่เสื่อมทรุดสามารถเป็นในระยะเวลาบรรจบ $2\pi/\omega$ แล้ว

$$\omega = \sqrt{\frac{A_3}{A_4}} = \sqrt{\frac{A_4}{A_2}}$$

จากค่าของสมการทั้งสองนี้ ปรากฏว่าฟรีเควนซีของการกลอกโดยไม่เสื่อมทรุดจะเป็น

$$\boxed{f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{L_a C_a}}}$$

ดังเมื่อก่อนที่ได้ผ่านมาแล้ว

จากลักษณะสำหรับการกลอกไม่เสื่อมทรุดนั้นเราได้

$$\frac{1}{L_a C_a} = \frac{K_2 L_a + K_3 L_a + (K_1 + K_4) M + C_a R_a}{K_3 C_a (L_a L_g - M^2)}$$

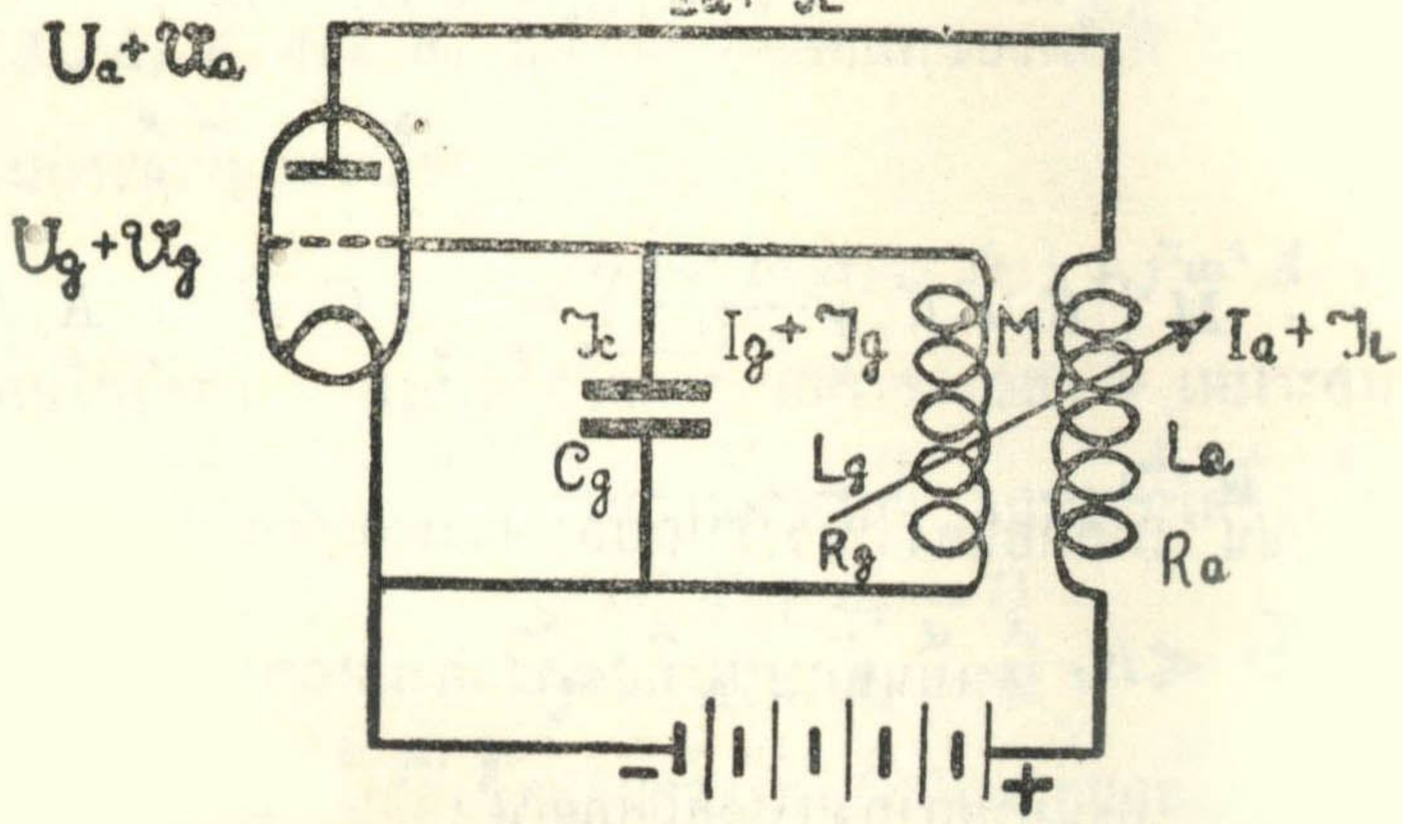
หรือ

$$M \left(K_1 + K_4 + \frac{K_3 M}{C_a} \right) = - \left(C_a R_a + K_2 L_a \right)$$

สมการข้างบนนี้ เมื่อทอนลงให้เข้ารูปกับลักษณะสมการ (192) ถ้า K_4 และ $\frac{M K_3}{C_a} \ll K_1$ ซึ่งเป็นลักษณะที่สมจริงตามหลอดออสซิเลเตอร์ ส่วนมากที่การประสานถ่ายกำลัง (Coupling) ไม่ชิด (Tight) จนเกินไป เมื่อ M มีค่าทางตัวเลขใหญ่กว่าค่าที่นับว่าเหมาะดีนั้นแอมปลิจูดแห่งการกลอกก็พยายามเบ่งค่าสูงขึ้น เพราะค่าของ M มีค่าใหญ่เกินปกติ ฉะนั้นจึงจำเป็นจักต้องพิจารณาดัดแปลงให้ดีขึ้น เหตุผลบางอย่างอันเกี่ยวแก่การประสานถ่ายกำลังชิดกันนั้นจักได้หยิบยกขึ้นมาพิจารณากันอีกในตอนข้างหน้าอันพาดหัวเรื่องว่าปรากฏการณ์ Ziehen

ยังมีออสซิเลเตอร์ที่ได้รับกำลังป้อนกลับด้วยอาการชักนำของขดลวดอินดัคแตนซ์แบบอื่นอีก ซึ่งจะขอหยิบยกขึ้นพิจารณาแต่ส่วนสำคัญเพียงย่อ ๆ คือ ในรูป ๒๒๑ แทนวงจรหลอดออสซิเลเตอร์ ซึ่งวงจรกลอกอยู่ในซีกกริดของหลอด ส่วนขดลวดรีแอกซ์อยู่บนอาโนด ในรายนี้ไม่อาจสามารถจะกำหนดเอาว่า กระแสไฟ i_L นั้นตัดทิ้งเสียได้ เพราะเหตุว่ากระแสไฟที่กล่าวนี้เป็นกระแสไฟกลอก และเราจักต้องหา

พฤติภาพที่จะทำให้อาการกลอกนี้ดำรงทรงอยู่ว่าจะเป็นอย่างไร ในทางใช้การตามปกตินั้น ย่อมจะทำให้กริดเป็นลบพอเพียงจนกะทั่งกระแสไฟ



รูป ๒๒๑ แสดงวงจรกลอกของออสซิเลเตอร์
ซึ่งวงจรกลอกอยู่ทางภาคกริด และขดลวดรีแอคชันอยู่ทางภาคอาโนด

กริดกลายเป็นสูญอยู่ทุกขณะไม่ว่าโปเตนเชียลที่กริด จะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร แล้วเราก็จะได้สมการเป็นตามรูปสมการ (185) คือ

$$\Im_L = \Im_a = K_1 u_g + K_2 u_a \quad .. \quad .. \quad .. \quad .. \quad (185)$$

$$i_L = - i_C = C_g \frac{d u_g}{dt} \quad .. \quad .. \quad .. \quad (193)$$

จาก (193) นี้ เราได้

$$u_g = \frac{1}{C_g} \int i_L \, dt$$

เรามีสมการที่เข้ากันได้อยู่แล้วสองสมการ คือ (188) และ (189) โดย

แทนค่าของสมการใน (188) และ (189) ลงในสมการ (185) แล้ว ดิฟเฟอเรนชิเอทสองครั้ง ก็จะได้รับสมการดิฟเฟอเรนเชี่ยลลูกบาศก์ (Cubic differential equation) ใน $\Im_L$ และ i_L คือ

$$\Im_L = - K_1 \left(R_g\, i_L + L_g \frac{di_L}{dt} + M \frac{d\Im_L}{dt} \right)$$

$$- K_2 \left(R_a\, \Im_L + L_a \frac{d\Im_L}{dt} + M \frac{di_L}{dt} \right)$$

$$\Im_L + K_1 \left(R_g\, i_L + L_g \frac{di_L}{dt} + M \frac{d\Im_L}{dt} \right)$$

$$+ K_2 \left(R_a\, \Im_L + L_a \frac{d\Im_L}{dt} + M \frac{di_L}{dt} \right) = O$$

$$\frac{d^2\Im_L}{dt^2} + K_1 \left(R_g \frac{d^2 i_L}{dt^2} + L_g \frac{d^3 i_L}{dt^3} + M \frac{d^3 \Im_L}{dt^3} \right)$$

$$+ K_2 \left(R_a \frac{d^2\Im_L}{dt^2} + L_a \frac{d^3\Im_L}{dt^3} + M \frac{d^3 i_L}{dt^3} \right) = O$$

ส่วนสมการที่สองใน $\Im_L$ กับ i_L นั้น อาจหาได้โดยแทนค่าจากสมการ (193) ลงในสมการ (189)

$$u_g = - \left(R_g\, i_L + L_g \frac{di_L}{dt} + M \frac{d\Im_L}{dt} \right)$$

$$C_g \frac{du_g}{dt} = - \left(R_g \frac{di_L}{dt} + L_g \frac{d^2 i_L}{dt^2} + M \frac{d^2 \Im_L}{dt^2} \right)$$

$$C_g \frac{du_g}{dt} + \left(R_g \frac{di_L}{dt} + L_g \frac{d^2 i_L}{dt^2} + M \frac{d^2 \Im_L}{dt^2} \right) = O$$

เมื่อแทนค่าของโอเปอเรเตอร์ $\frac{d}{dt}$ ด้วย $j\omega$ และเรโช $\mathfrak{S}_L : i_L$ นั้นจัดออกเสีย ก็จะได้สมการผลลัพธ์ใน ω เป็น

ก) $\mathfrak{S}_L \cdot j^2 \omega^2 + K_1 (R_g i_L j^2 \omega^2 + L_g i_L j^3 \omega^3 + M \mathfrak{S}_L j^3 \omega^3)$

$+ K_2 (R_a \mathfrak{S}_L \cdot j^3 \omega^3 + L_a \mathfrak{S}_a j^3 \omega^3 + M i_L j^3 \omega^3) = O$

ข) $C_g u_g j\omega + R_g i_L j\omega + L_g i_E j^2 \omega^2 + M \mathfrak{S} j^2 \omega^2 = O$

แทนค่าของ $\mathfrak{S}_E : i_L$ ลงก็จะได้

$$j^3 \omega^3 (L_a L_g - M^2) + j^2 \omega^2 (L_a R_g + L_g \cdot \overline{R_a + 1/K_2})$$

$$+ j\omega (R_g \cdot \overline{R_a + 1/K_2} + \frac{L_a}{C_g} + \frac{MK_1}{C_g K_2}) + \frac{R_a + 1/K_2}{C_g} = O \quad \cdots (194)$$

เมื่อใช้วิธีกระจายสมการ ของ Cubic equation ร่วมกับค่าใกล้เคียง $R_a + 1/K_2 \simeq 1/K_2$ และ $L_a \cdot R_g \ll L_g/K_2$ ฉะนั้นลักษณะสำหรับที่จะให้เกิดอาการกลอกโดยไม่เสื่อมทรุดนั้นปรากฏว่า

$$\boxed{M^2 + \frac{K_1}{K_2} L_g M + \frac{L_g C_g R_g}{K_2} = O} \quad \cdots \cdots (195)$$

ณ ที่นี้ค่าของ M จะต้องอยู่ในระหว่างรูทลบ ของสมการควอดราติคสองค่า ในเมื่อการกลอกอันไม่เสื่อมทรุดจักต้องดำรงให้ทรงอยู่ดังก่อน ถ้าค่าตามตัวเลขของ M น้อยกว่านั้น ก็จะทำให้มีลักษณะ

อันพอดี สำหรับเมื่อการเสื่อมทรุด กำลังเป็นสูญพอดี สำหรับค่าตัวเลข ของ M ที่ใหญ่กว่านั้น แอมปลิจูดแห่งการกลอกจะพยายามทวีสูงขึ้น โดยการเขียนสมการ (195) ดังในรูปข้างล่างนี้

$$j^3\omega^3 A_1 + j^2\omega^2 A_2 + j\omega A_3 + A_4 = 0$$

ฟรีเควนซีแห่งการกลอกก็คงหาได้ดังเช่นก่อนจากสมการ

$$\omega = \sqrt{\frac{A_4}{A_2}}$$

ฉะนั้นจึงได้

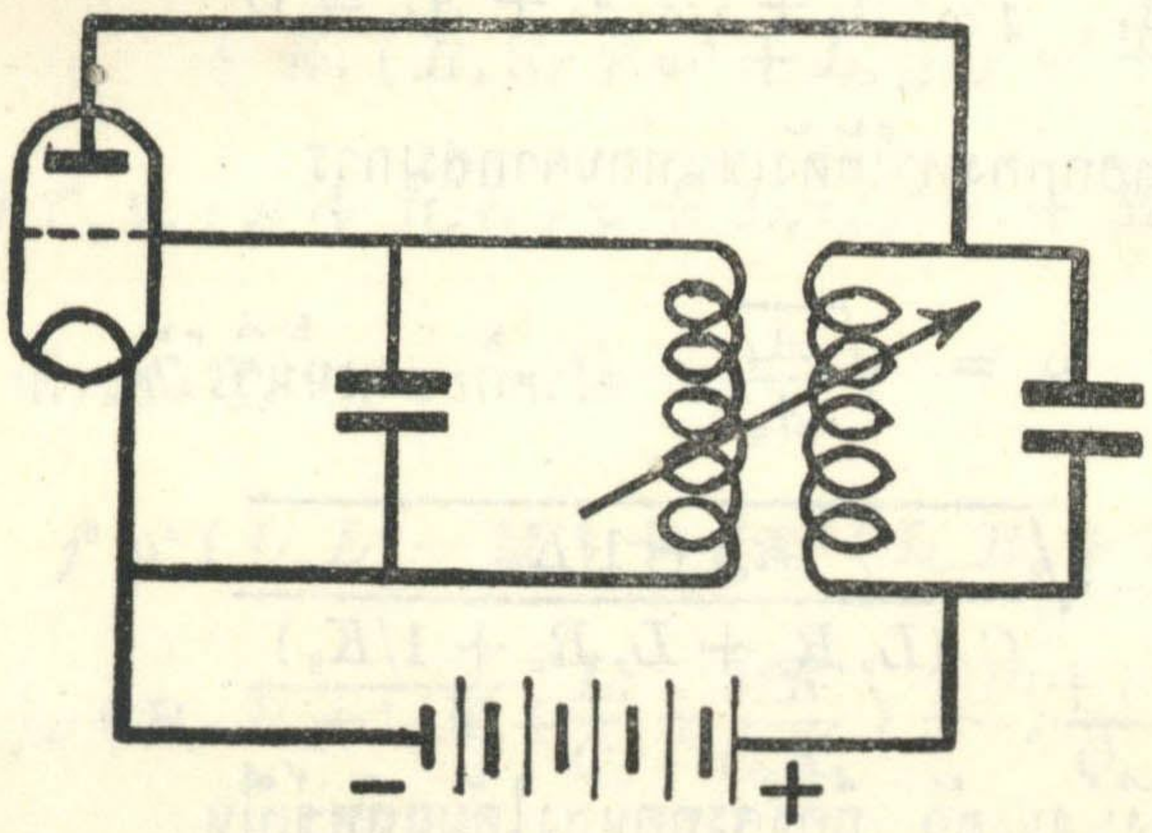
$$\omega = \sqrt{\frac{R_a + 1/K_2}{C_g(L_a R_g + L_g R_a + 1/K_2)}}$$

เมื่อใช้ค่าใกล้เคียงดังก่อนแล้ว ก็คงจะทอนลงได้ผลลัพธ์เป็น

$$\boxed{\omega \sim \frac{1}{\sqrt{L_g C_g}}} \quad .. \quad .. \quad .. \quad (195)$$

ในออสซิเลเตอร์ที่ใช้หลอดทั้งสองแบบนี้ ค่าของฟรีเควนซีแห่งคลื่นส่งแผ่กระจายออกใกล้เคียงกันกับฟรีเควนซีธรรมชาติของวงจรกลอก ส่วนวงจรกลอกชะนิดป้อนกำลังกลับโดยอาศัยการชักนำ ของขดลวดอินดัคแตนซ์อีกแบบหนึ่งนั้นคือ แบบที่มีวงจรกลอกอยู่ทั้งที่อาโนด และที่กริดของหลอดออสซิเลเตอร์ โดยที่แคแปซิตีที่บังเกิดมีอยู่ภายในหลอด คือแคแปซิตีระหว่างอาโนดกับคาโทดอย่างหนึ่ง และแคแปซิตี

ระหว่าง กริดกับคาโทด อีกอย่างหนึ่ง ต่างก็ต่อเป็นอันดับ อยู่กับอินดัค
แตนซ์อาโนด และอินดัคแตนซ์กริดตามลำดับ รูปร่างหน้าตาของวงจร
ชะนิดที่กล่าวนี้ สามารถแสดงให้เห็นได้ดังในรูป ๒๒๒



รูป ๒๒๒ แสดงไดอาแกรมสำหรับวงจรในรูป ๒๒๐-๒๒๑ ซึ่งประกอบด้วยขดลวดรีแอคชันและแคแปซิตีภายในหลอดอันหนึ่ง ทำหน้าที่เปนวงจรกลอกอันที่สองขึ้น

อันที่จริง วงจรแบบนี้ก็คือ เป็นวงจร ของแบบทั้งสอง ที่กล่าวแล้ว สอง แบบ มาประกอบกันเข้า ในวงจรทั้ง สอง ซึ่ง ขดลวดบ้อนกำลังกลับ (Reaction coil) ทั้งสองและแคแปซิตีภายในหลอดแคแปซิตีหนึ่ง ทำหน้าที่เป็นตัวแทนวงจรกลอกวงที่สอง

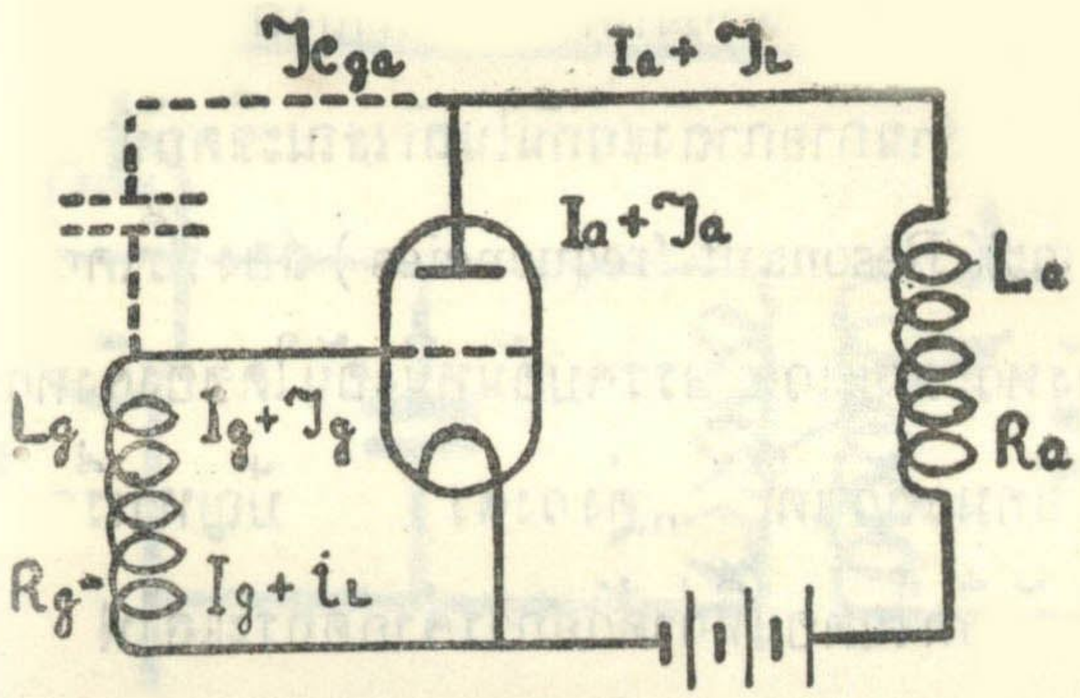
การจำแนกอาการ ของวงจรแบบนี้ ในทางเลข ดังวิธีที่แล้วๆ มา สำหรับแบบที่หนึ่งและแบบที่สองนั้นนำให้เข้าไปหารูปสมการ Bi-quadratic ใน S_L ผลที่จะหาคำตอบของสมการที่กล่าวนี้ ย่อมยุ่งยากมาก ไม่สมค่า กับเวลาที่จักต้องกระจายเลขออก เป็นจำนวนซับซ้อนมากมาย แต่สำหรับวงจรที่มีการประสาน ถ่ายกำลังห่างกันแล้ว ก็อาจทำให้มี

ความง่ายดายขึ้นดังในแบบที่ผ่านมาแล้วได้ ส่วนแบบอันใดจะเป็นแบบที่เหมาะจงนั้นย่อมแล้วแต่ว่าวงจรสองวงนั้นวงใดจะรับกระแสไฟมากกว่ากัน วงจรนั้นจะเป็นผู้บังคับฟรีเควนซีที่ส่งแผ่กระจายออก สำหรับการประสานถ่ายกำลังระหว่างสองวงจรชิดกัน ต่างวงก็ต่างบีบกำลังถ่าย ให้แก่กัน ฉะนั้นในวงจรคู่ใดก็ตามที่ประสานถ่ายกำลังแก่กันในลักษณะชิดกัน ย่อมบังเกิดมีฟรีเควนซีเข้าจังหวะ (Resonant frequencies) สองฟรีเควนซี หลอดจะทำการกลอกในจังหวะระยะเวลาบรรจบอันหนึ่งอันใดของจังหวะเวลาบรรจบ สองระยะนี้ ย่อมแล้วแต่การแต่งวงจร ปัญหาเรื่องนี้จักได้หยิบยกขึ้นพิจารณากันอีกในตอนที่ว่าด้วยการจำกัดกระแสไฟ

ในบรรดาวงจรที่แล้ว ๆ มานั้นมิได้คำนึงถึงแคแปซิตีอันเกิดระหว่างอิเลคโทรดภายในหลอดด้วยเลย อันที่จริงนั้นแคแปซิตีระหว่างคาโทดกับอาโนด และระหว่างกริดกับคาโทด ของหลอดนั้นต่อร่วมอยู่กับค่าของ C_a หรือ C_g ด้วยแล้ว แต่ส่วนแคแปซิตีระหว่างอาโนดกับกริดของหลอดนั้นไม่ได้ร่วมเข้าอยู่ในคอนเดนเซอรของวงจรทั้งสองด้วย แต่แคแปซิตีอันนี้ทำหน้าที่เป็นตัวประสานถ่ายกำลัง ซึ่งเรียกว่า “Capacity coupling” ระหว่างวงจรสองวง เพราะฉะนั้นจึงมีอาการอย่างเดียวกับการถ่ายกำลังให้แก่กันที่เรียกว่า “Mutual coupling” การทำให้เกิดอาการกลอกโดยตนเอง ด้วยการประสานถ่ายกำลังผ่านคอนเดนเซอร์อันเป็นแคแปซิตีระหว่างวงจรอาโนดกับวงจรกริดนั้น จักได้นำขึ้นพิจารณาเสียณบัดนี้

ข) วงจรที่ได้รับกำลังป้อนกลับด้วยการถ่ายกำลังผ่านแคแปซิตี้

ซึ่งณที่นี้ขอกำหนดให้เรียกแต่เพียงย่อ ๆ ว่า "วงจรแคแปซิตีฟ" วงจรนี้ก็สามารถจะทำให้เกิดอาการลกอกขึ้นได้เอง โดยไม่จำเป็นต้องมีคอนเดนเซอร์อื่นใดเพิ่มเติมเข้ามาด้วย ในพฤติภาพตามธรรมดานั้นแคแปซิตีอันเกิดขึ้นระหว่างอิเลคโทรดภายในหลอดนั้น ก็มีขนาดพอเพียงสำหรับที่จะดำรงให้คงมีการกลอกอยู่ได้ และ



รูป ๒๒๓ แสดงวงจรที่ได้รับกำลังป้อนกลับด้วยอาการถ่ายกำลังผ่านทางคอนเดนเซอร์

อาการเช่นนี้ เป็นออสซิเลเตอร์แบบง่ายที่สุด และยังแสดงให้เห็นอีกด้วยว่าอินดัคแตนซ์ทั้งคู่ (L_a และ L_g) นี้ เป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งเพราะฉะนั้นวงจรที่แสดงอยู่ตามรูป ๒๒๓ ซึ่ง C_{ga} เป็นแคแปซิตีระหว่างอาโนดกับกริดของหลอด คอนเดนเซอร์ตัวที่เขียนแสดงด้วยเส้นจุด ๆ นั้นอาจต่อเพิ่มเข้าไปสำหรับบังคับฟรีเควนซี่ให้มีขนาดต่าง ๆ ได้ตามความประสงค์ และบังคับกระแสไฟจ่าย (Output) ด้วย

เรื่องนี้ย่อมนับว่าเป็นสิ่งสำคัญที่สุดที่จักต้องพิจารณา เพราะว่าแคแปซิตีในระหว่างอิเลคโทรดของหลอดเท่านั้นเป็นผู้รับผิดชอบในการที่

จะทำให้เกิดอาการกลอกในตนเองขึ้นได้ในหลอดทวีกำลัง (Amplifier) การศึกษาอาการของวงจรหลอดเดียวนี้ ย่อมเป็นหนทางให้เข้าใจอาการ ซึ่งจะบังเกิดอาการกลอกขึ้นในวงไฟของหลอดหลายหลอดได้แจ่มแจ้ง

ตามวงจรในรูป ๑๒๓ สมมติให้ $\mathfrak{Z}_{Cga}$ และ $\mathfrak{Z}_E$ เป็นองค์ประกอบกระแสไฟสลับที่ไหลผ่านแคแปซิตี้ของหลอด และอินดัคแตนซ์อาโนดตามลำดับ จึงได้

$$\mathfrak{Z}_a = \mathfrak{Z}_L + \mathfrak{Z}_{Cga} \qquad .. \quad .. \qquad (196)$$

ในที่นี้ขอให้ถือว่ากริดได้รับโปเตนเชียลบำรุงอยู่ดังเช่นในวงจรหลอดก่อน ๆ ฉะนั้นจึงได้

$$\mathfrak{Z}_{Cga} = i_L \qquad .. \quad .. \quad .. \qquad (197)$$

การเปลี่ยนแปลงของโปเตนเชียลที่อาโนดนั้น อาจแทนด้วยโปเตนเชียลตกในระหว่าง L_a หรือโดยโปเตนเชียลตกระหว่าง C_{ga} กับ L_g ต่อเป็นอันดับกันได้ คืออาการตกของโปเตนเชียลที่กล่าวนี้สามารถเขียนเป็นสมการได้ คือ

$$u_a = -(j\omega L_a + R_a)\mathfrak{Z}_L = u_g - \frac{\mathfrak{Z}_{Cga}}{j\omega C_{ga}} \qquad .. \quad .. \qquad (198)$$

$$u_g = -(j\omega L_g + R_g)\, i_L = -(j\omega L_g + R_g)\, \mathfrak{Z}_{Cga} \qquad .. \qquad (199)$$

โดยเหตุที่ $(j\omega L_a + R_a)\mathfrak{Z}_L = (j\omega L_g + R_g + \frac{1}{j\omega C})\mathfrak{Z}_{Cga}$ (200)

ส่วนสมการของหลอดโดยทั่วไปนั้นกำหนดว่า

$$\mathfrak{Z}_a = K_1 u_g + K_2 u_a$$

ฉะนั้น เมื่อให้มีการแทนค่าต่าง ๆ สำหรับ $\mathfrak{z}_1$, u_a และ u_g จากสมการ (196), (198) และ (199) ลงตามลำดับ โดยให้ความสัมพันธ์ระหว่าง $\mathfrak{z}_L$ กับ $\mathfrak{z}_{Cga}$ แล้ว ก็ย่อมจะทอนสมการเหล่านั้นลงเป็นรูปตามวิธีนี้ได้

$$\mathfrak{z}_a = -K_1(j\omega L_g)\,\mathfrak{z}_{Cga} - K_2\,(j\omega L_a + R_a)\,\mathfrak{z}_L$$

$$\mathfrak{z}_L + \mathfrak{z}_{Cga} + K_1(j\omega L_g + R_g) + K_2(j\omega L_a + R_a)\,\mathfrak{z}_2 = 0$$

$$(1+j\omega K_2 L_a + K_2 R_a)\,\mathfrak{z}_L + (1 + j\omega K_1 L_g + K_1 R_g)\,\mathfrak{z}_{Cga} = 0 \quad \ldots\ \ldots\ \ldots\ \ldots\ (201)$$

ทำให้ค่า $\mathfrak{z}_L$ จากสมการ (200) และ (201) หมดไป คือ

จาก (200)

$$\mathfrak{z}_L = \frac{(j\omega L_g + R_g + \frac{1}{j\omega C_{ga}})\,\mathfrak{z}_{Cga}}{(j\omega L_a + R_a)}$$

จาก (201)

$$\frac{(1 + j\omega K_2 L_a + K_2 R_a)\,(j\omega L_g + R_g + \frac{1}{j\omega C_{ga}})\,\mathfrak{z}_{Cga}}{(j\omega L_a + R_a)} + (1 + j\omega K_1 L_g + K_1 R_g)\,\mathfrak{z}_{Cga} = 0$$

$$(1+ j\omega K_2 L_a + K_2 R_a)\,(j\omega L_g + R_g + \frac{1}{j\omega C_{Cga}})\,\mathfrak{z}_{Cga} + (j\omega L_a + R_a)(1 + j\omega K_1 L_g + K_1 R_g)\,\mathfrak{z}_{Cga} = 0$$

$$\mathfrak{z}_{Cga}\Big\{ j\omega L_g + j^2\omega^3 K_2 L_a L_g + j\omega K_2 L_g R_a + R_g + j\omega K_2 L\ R_g + K_2 R_a R_g + \frac{1}{j\omega C_{ga}} + \frac{K_2 L_a}{C_{ga}} + \frac{K_2 R_a}{j\omega C_{ga}} + j\omega L_a + j^2\omega^2 K_1 L_a L_g + j\omega K_1 L_a R_g + R_a + j\omega K_1 L_g R_a + K_1 R_a R_g \Big\} = 0$$

$$\mathfrak{Z}_{Cga}\left\{j\omega L_a L_g(K_1+K_2)+j\omega\left[L_a(1+R_g\cdot\overline{K_1+K_2}\right.\right.$$
$$\left.+L_g(1+R_a\cdot\overline{K_1+K_2})\right]+\left[R_a+R_g+R_aR_g(K_1+K_2)\right.$$
$$\left.\left.+\frac{K_2L_a}{C_{ga}}\right]+\frac{1+K_2R_a}{j\omega C_{ga}}\right\}=0$$

$$\left\{j^3\omega^3L_aL_g(K_1+K_2)+j^2\omega^2\left[L_a(1+R_g\overline{K_1+K_2})+L_g(1+R_a\right.\right.$$
$$\left.\cdot\overline{K_4+K_3})\right]+j\omega\left[R_a+R_g+R_aR_g(K_1+K_2)+\frac{K_2L_a}{C_{ga}}\right]$$
$$\left.+\frac{1+K_2R_a}{C_{ga}}\right\}=0$$

เมื่อตัดเทอมที่มีค่า $(K_1+K_2)R_a$ หรือ K_2R_a ออกเสีย เพราะเทอมเหล่านั้นเมื่อเปรียบกับหนึ่งมีค่าต่างกันไกลมากแล้ว สมการข้างบนก็ถูกทอนลงเป็น

$$\left\{j^3\omega^3L_aL_g(K_1+K_2)+j^3\omega^3(L_a+L_g)+j\omega(R_a+R_g\right.$$
$$\left.+\frac{K_2L_a}{C_{ga}})+\frac{1}{C_{ga}}\right\}\mathfrak{Z}_{Cga}=0$$

เราจะหาค่าฟรีเควนซีของกระแสไฟกลอก $\mathfrak{Z}_{Cga}$ ในนามขององค์ประกอบแห่งวงจรได้อย่างวิธีที่แล้วมา ทั้งลักษณะสำหรับรักษาให้การกลอกดำรงอยู่ก็เช่นเดียวกัน จากสมการข้างต้นเราเขียนได้เป็นรูป

$$j^3\omega^2A_1+j^2\omega^2A_2+j\omega A_3+A_4=0$$

ซึ่งฟรีเควนซีของการกลอกจะได้ $\omega=\sqrt{\frac{A_4}{A_2}}$

$$\boxed{\omega^2=\frac{\frac{1}{C_{ga}}}{L_a+L_g}=\frac{1}{(L_a+L_g)C_{ga}}} \quad \ldots\ldots(202)$$

และพฤติภาพสำหรับทำให้เกิดการกลอกโดยไม่เสื่อมทรุดนั้นคือ

$$\frac{A^3}{A_1} \leqq \omega^2$$

$$\frac{R_a + R_g + K_2 L_a / C_{ga}}{L_a L_g (K_1 + K_2)} < \frac{1}{(L_a + L_g) C_{ga}}$$

จากค่าข้างบนนี้จึงได้

$$\frac{(R_a + R_g) C_{ga} + K_2 L_a}{L_a L_g (K_1 + K_2) C_{ga}} < \frac{1}{(L_a + L_g) C_{ga}}$$

$$\frac{(R_a + R_g) C_{ga} (L_a + L_g) C_{ga} + K_2 L_a (L_a + L_g) C_{ga}}{L_a L_g (K_1 + K_2) C_{ga}} \leqq 1$$

$$\frac{(R_a + R_g)(L_a + L_g) C_{ga}}{L_a L_g (K_1 K_2) C_{ga}} + \frac{K_2 L_a (L_a + L_g}{L_a L_g (K_4 K_2)} \leqq 1$$

$$\frac{(R_a + R_g)(L_a + L_g) C_{ga}}{L_a L_g^4 (K_1 + K_2)} + \frac{K_2 (L_a + L_g)}{L_g (K_4 + K_2)} \leqq 1$$

$$\frac{(R_a + R_g)(L_a + L_g) C_{gd}}{L_a (K_1 + K_2)} + \frac{K_2 (L_a + L_g)}{(K_1 + K_2)} \leqq L$$

โดยที่ $\frac{K_1}{K_2} + 1 = \mu_o + 1 ; \frac{K_1 + K_2}{K_2^a} = \mu_o + 1$

และ $K_1 + K_2 = (\mu_o + 1) K_2$

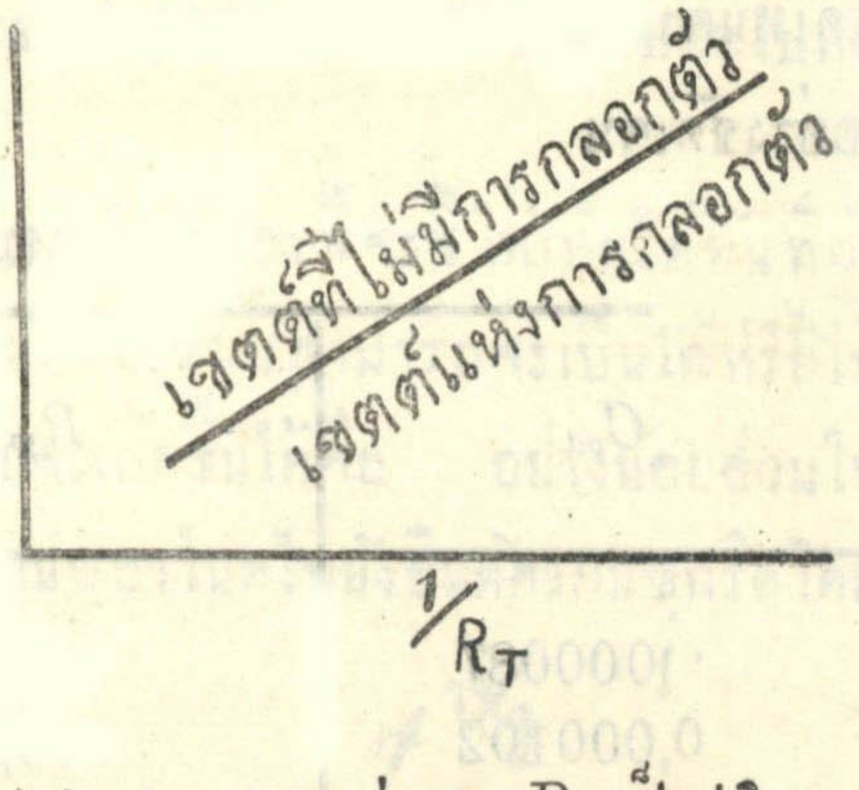
ฉะนั้น

$$\frac{(R_a + R_g)(L_a + L_a) C_g}{L_a K_2 (\mu_o + 1)} + \frac{L_a + L_g}{(\mu_o + 1} \leqq L_g$$

$$\frac{(R_a + R_g)(L_a + L_g) C_{ga}}{K_2 L_a} + L_a + L_a \leqq L_g (\mu_o + 1)$$

$$\frac{(R_a + R_g)(L_a + L_g) C_{ga}}{K_2 L_a} + L_a \leqq \mu_o L_g \quad .. \quad (203)$$

เครื่องหมาย < อาศัยหลักมาจากผลแห่งการทดลองที่ว่าเมื่อความต้านทานที่สูงขึ้นจะทำให้การกลอกไปมาหยุดได้ จากสมการ (203) นี้ยังปรากฏอีกว่า ถ้าค่าของแคแปซิติ C_{ga} นี้มีขนาดใหญ่พอเพียงก็ย่อมจะทำให้การกลอกไปมาหยุดได้เช่นเดียวกัน อาการที่ความต้านทานที่สูงขึ้นจะทำให้การกลอกไปมาหยุดได้นั้นเป็นของธรรมดาที่รู้กันอยู่แล้วโดยทั่วไป แต่ว่าอาการที่มีคอนเดนเซอร์ขนาดใหญ่พอเพียงต่อเป็นพวงขนานกับแคแปซิติระหว่างอิเลคโทรดภายในหลอดจะทำให้อาการกลอกหยุดลงด้วยเหมือนกันนั้นเป็นเรื่องที่รู้กันน้อย ฉะนั้นจึงขอนำเอาความสำคัญในเรื่องนี้ไว้กล่าวในตอนพิเศษเองของหลอดที่กำลังฟรีเควนซีสูง ซึ่งอาศัยหลักที่ว่านี้



รูป ๒๒๔ แสดงค่าของ R_T เป็นปฏิภาคตรงข้ามกันกับ C_{ga} และแบ่งเขตต์ให้เห็นว่าเขตต์ใดกลอกตัวและไม่กลอกตัว

วงจรอย่างเดียวกันกับในรูป ๑๒๓ อาจใช้ทดลองสอบผลของสมการ (203) ดูได้ โดยอาศัยเวฟมิเตอร์ที่ใช้ Vacuum thermo-junction หรือเวฟมิเตอร์แบบ Heterodyne สำหรับตรวจอาการกลอกที่บังเกิดขึ้นก็ได้ ตารางหมายเลข แสดงผลของการทดลองซึ่งการกลอกเริ่มต้นเกิดขึ้นในเมื่อความต้านทานโอมทั้งสิ้นมีค่าตั้งแต่ 413,8 โอม

เป็นต้นไป โดยการต่อแคแปซิตีเป็นพวงขนานกับ C_{ga} เพิ่มขึ้น ย่อมจะทำให้การกลอกหยุดลง แม้ว่าความต้านทานโอมทั้งสิ้นจะเป็น 373,8 โอมก็ตาม โดยการทดลองใช้ค่าของ C_{ga} และ R_T ต่าง ๆ ซึ่งอาการกลอกจะเริ่มมีขึ้นได้นั้นมารวมผลตรอกลงในตารางแล้วเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ R_T อันเป็นอัตราส่วนตรงข้ามกับค่าของ C_{ga} ก็ย่อมจะได้เห็นตำแหน่งแสดงอาการของ $(R_a + R_g)$ และ C_{ga} ในสมการ (203) อย่างชัดเจน

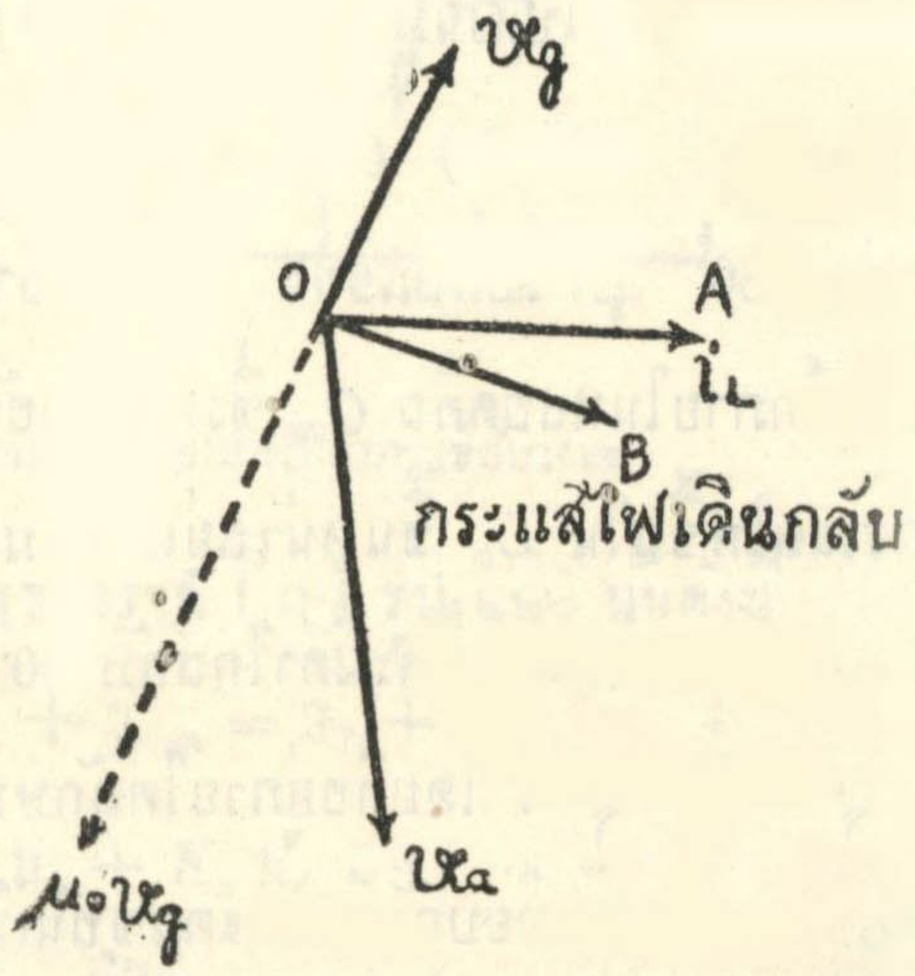
ตารางหมายเลข

C_{ga}	R_T	ส่วนยาวของคลื่นที่ส่งผ่านเป็นรัศมีออกไป
0,000087	413,8	595
0,000102	373,8	600
0,000181	229,8	755
0,000303	140,8	975
0,000436	100,8	1140
0,000553	79,8	1285
0,000681	64,8	1425
0,000799	54,8	1540
0,000925	46,8	1650
0,001055	40,8	1777
0,001316	36,8	1880
0,001185	32,8	2000
0,001449	29,8	2045
0,001585	26,8	2200
0,001717	24,8	2270

ถ้าเอาค่ากำลังสองของขนาดยาวคลื่นที่ส่งแผ่กระจายออกมาเขียนกราฟสัมพันธ์กับค่าของคอนเดนเซอร์ C_{ga} ผลลัพธ์ของเส้นกราฟนั้นจะเป็นเส้นตรง ค่าตัวเลขของขนาดยาวคลื่นที่แผ่กระจายออกนี้เป็นไปตามอาการของสมการ (202)

ความเปลี่ยนแปลงในค่ากระแส Δi_{Cga} (หรือ Δi_L) กับการเปลี่ยนแปลงในค่าของ C_{ga} นั้นจักได้หยิบยกขึ้นพิจารณาในตอนต่อไปของบทนี้โดยเฉพาะทีเดียว

การแสดงจำนวนทางเวคเตอร์ของเรื่องนี้จะช่วยให้เห็นได้ทันทีว่าอาการที่จะทำให้เกิดการกลอกด้วยตนเองนั้นสามารถจะเป็นได้หรือไม่ สำหรับลักษณะที่การกลอกสามารถจะเกิดขึ้นได้คือ อย่างน้อยส่วนในองค์ประกอบกระแสไฟจากอินดัคแตนซ์อาโนดไปยังอินดัคแตนซ์กริดโดยผ่านทางแคแปซิตี้ C_{ga} จะต้องร่วมเฟสกันกับกระแสไฟเดิมใน L_g คือหมายความว่า เวคเตอร์ที่แทนกระแสไฟเดินกลับนี้จะต้องนำหน้าหรือล้าหลังกระแสไฟเดิมบนขดลวดกริดอยู่น้อยกว่า 90° มุมระหว่างกระแสไฟทั้งสองนี้ยิ่งเล็กความต่างเฟสระหว่างนั้นก็ยิ่งน้อย โดยเหตุนี้จึงยิ่งเปิดโอกาสให้การดำรงรักษาอาการกลอกสามารถเป็นได้มากขึ้น

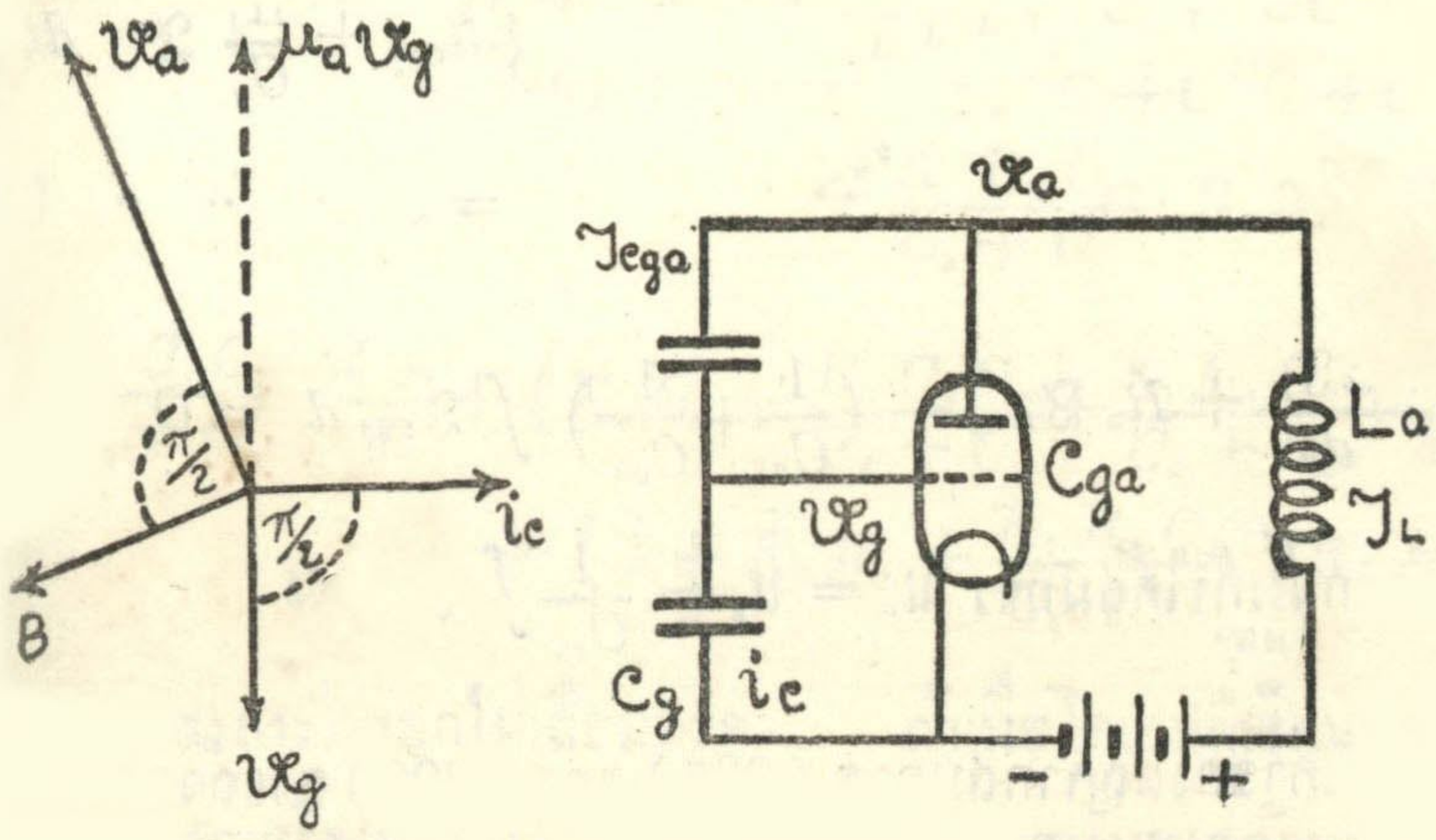


รูป ๒๒๕ แสดงเวคเตอร์สัมพันธ์กันในระหว่างกระแสไฟและกำลังดัน

ตามรูป ๒๒๕ OA แทนกระแสไฟเดิม i_L ในขดลวดอินดักแตนซ์ของกริด แรงเคลื่อนที่กริดซึ่งเปลี่ยนแปลง u_g นั้นจะขึ้นหน้ากระแสไฟ i_L อยู่เป็นมุม 90° เพราะเหตุว่าอิมพีแดนซ์ภายนอกของกริดนั้นเป็นอินดักทีฟ u_g นี้ได้ถูกดึงให้มีค่าน้อยกว่า 90° ไปข้างหน้า i_L อยู่เล็กน้อยก็โดยเหตุว่าความต้านทานโอม R_g เป็นผู้กระทำ ดังที่ได้รู้มาแล้วว่า การเปลี่ยนแปลงของโปเตนเชียลที่อาโนดนั้นจะต่างเฟสกันกับการเปลี่ยนแปลงโปเตนเชียลที่กริดอยู่เป็นมุม 180° และจะมีค่าใหญ่กว่ากันถึง μ_o เท่า ค่านี้แทนด้วยเวคเตอร์เส้นจุด และจะถูกต้องก็แต่ฉะเพาะในเมื่อไม่มีงานออกแรงรีแอคแตนซ์ (Reactance load) ในวงจรอาโนด สำหรับลักษณะที่งานออกแรงรีแอคแตนซ์ L_a ด้วยแล้ว ค่าของ u_a จะต่างเฟสไปเป็นมุมมากกว่า 180° เพราะงานออกแรงแคแปซิทีฟ (Capacitive load) C_a จะทำให้ u_a ต่างเฟสกับ u_g เป็นมุมน้อยกว่า 180° โปเตนเชียล u_a นี้จะสำแดงปฏิกิริยาผ่านตลอดแคแปซิตันเด็กภายในหลอดคือ C_{ga} ซึ่งต่อเป็นอันดับอยู่กับ L_g จึงทำให้เกิดมีกระแสไฟขึ้นใน L_g ขึ้นหน้าอยู่เป็นมุมประมาณ 90° มุมขึ้นหน้า (Angle of lead) นี้จะมีค่าใกล้กับ 90° มากเข้าไป ในเมื่อค่าของ C_{ga} และ L_g ยิ่งเล็กลง โดยที่อยู่ภายใต้ลักษณะเหล่านี้เอง รีแอคแตนซ์ของ L_g เมื่อเปรียบเทียบกับรีแอคแตนซ์อันเนื่องจาก C_{ga} แล้วมีค่าเล็กผิดกันมาก ที่กล่าวนี้หมายความฉะเพาะแต่ในเรื่องฟรีเควนซีสูงเท่านั้น กระแสไฟอันนี้กำหนดให้แทนด้วยเวคเตอร์ OB ซึ่งมีองค์ประกอบอันใหญ่

และร่วมเฟสกันกับ i_L เพราะฉะนั้นวงจรแบบนี้จึงเหมาะสำหรับทำให้เกิดการกลอกในตัวเอง

การจำแนกอาการสัมพันธ์ในทางเลขของวงจรเหล่านี้รับรองข้อตัดสินอันได้จากการคำนวณทางเวคเตอร์ว่าสอดคล้องกัน แต่ในรายหนึ่ง ๆ ของลักษณะสำหรับที่จะทำให้เกิดการกลอกนั้นทางใช้การไม่อาจปฏิบัติให้เป็นไปตามที่กล่าวได้



รูป ๒๒๖ ก แสดงเวคเตอร์ไดอาแกรมสัมพันธ์กับวงจร

การจำแนกอาการทางเลขของราย (ก) รูป ๒๒๖ นั้นดังนี้

$$\mathfrak{z}_a = \mathfrak{z}_L + \mathfrak{z}_{Cga} = \mathfrak{z}_L + i_c \quad .. \quad .. \quad (204)$$

$$\mathfrak{z}_a = K_1 u_g + K_2 u_a \quad .. \quad .. \quad .. \quad .. \quad (185)$$

$$u_a = -\left(L_a \frac{d\mathfrak{z}_L}{dt} R_a \mathfrak{z}_L\right) \quad .. \quad .. \quad .. \quad (205)$$

$$u_g = -\frac{1}{C_g}\int i_c \, dt = -\frac{1}{C_g}\int \mathfrak{z}_{Cga} \, dt \quad (206)$$

เมื่อแทนค่าจากสมการ (204), (205) และ (206) ลงใน (185) แล้วจัดรูปของสมการใหม่ก็จะได้ดังนี้

$$\mathfrak{z}_L + \mathfrak{z}_{Cga} = -K_1 \frac{1}{C_g} \int \mathfrak{z}_{ga}\, dt - K_2 \left(L_a \frac{d\mathfrak{z}_L}{dt} + R_a \mathfrak{z} \right)$$

$$K_2 L_a \frac{d\mathfrak{z}_L}{dt} + \mathfrak{z}_L + K_2 R_a \mathfrak{z}_L + \mathfrak{z}_{Cga} + \frac{K_1}{C_g} \int \mathfrak{z}_{Cga}\, dt = O$$

$$\left(K_2 L_a \frac{d\mathfrak{z}_L}{dt} + \overline{1 + K_2 R_a} \cdot \mathfrak{z}_L \right) + \left(\mathfrak{z}_{Cga} + \frac{K_1}{C_g} \mathfrak{z} \quad dt \right)$$

$$= O \quad .. \quad .. \quad .. \quad (207)$$

$$\left(L_a \frac{d\mathfrak{z}_L}{dt} + R_a \mathfrak{z}_L \right) - \left(\frac{1}{C_g} + \frac{1}{C_{ga}} \right) \int \mathfrak{z}_{Cga}\, dt = O$$

นอกจากนั้นยังได้สมการ $\mathfrak{u}_a = \mathfrak{u}_g - \frac{1}{C_{ga}} \int \mathfrak{z}_{Cga}\, dt$

ครั้นแทนค่าของผลจากสมการ (205) และ (206) ลงแล้วกลายรูปเป็น

$$-\left(L_a \frac{d\mathfrak{z}_L}{dt} + R_a \mathfrak{z}_L \right) = -\frac{1}{C_g} \int \mathfrak{z}_{Cga}\, dt - \frac{1}{C_{ga}} \int \mathfrak{z}_{Cga}\, dt$$

$$\left(L_a \frac{d\mathfrak{z}_L}{dt} + R_a \mathfrak{z}_L \right) - \left(\frac{1}{C_g} + \frac{1}{C_{ga}} \right) \int \mathfrak{z}_{Cga}\, dt = O$$

จากข้างบนนี้ได้

$$\int \mathfrak{z}_{Cga}\, dt = \left(L_a \frac{d\mathfrak{z}_L}{dt} + R_a \mathfrak{z}_L \right) \left(\frac{C_g C_{ga}}{C_g + C_{ga}} \right)$$

โดยเหตุนี้ $$\mathfrak{z}_{Cga} = \left(L_a \frac{d^2 \mathfrak{z}_L}{dt^2} + R_a \frac{d\mathfrak{z}_L}{dt} \right) \left(\frac{C_g C_{ga}}{C_g + C_{ga}} \right)$$

เมื่อแทนค่าเหล่านี้ลงในสมการ (207) แล้วจัดเทอมต่าง ๆ ให้เข้าชุดกัน

$$\left(K_2 L_a \frac{d\Im_L}{dt} + \overline{1 + K_2 R_a} \cdot \Im_L\right) + \left\{ \left(L_a \frac{d^2 \Im_L}{dt} + R_a \frac{d\Im_L}{dt}\right) \left(\frac{C_g C_{ga}}{C_g + C_{ga}}\right) + \frac{K_1}{C_g} \left(L_g \frac{d\Im_L}{dt} + R_a \Im_L\right) \left(\frac{C_g C_{ga}}{C_g + C_{ga}}\right) \right\} = 0$$

$$K_2 L_g \frac{d\Im_L}{dt} + \Im_L + K_2 R_a \Im_L + \frac{C_g C_{ga}}{C_g + C_{ga}} \cdot L_g \frac{d^2 \Im_L}{dt^2}$$

$$+ \frac{C_g C_{ga}}{C_g + C_{ga}} \cdot R_g \frac{d\Im_L}{dt} + \frac{K_1}{C_g} \cdot \frac{C_g C_{ga}}{C_g + C_{ga}} \cdot L_g \frac{d\Im_L}{dt}$$

$$+ \frac{K R_a C_{ga}}{C_g + C_{ga}} \cdot R_a \Im_L = 0$$

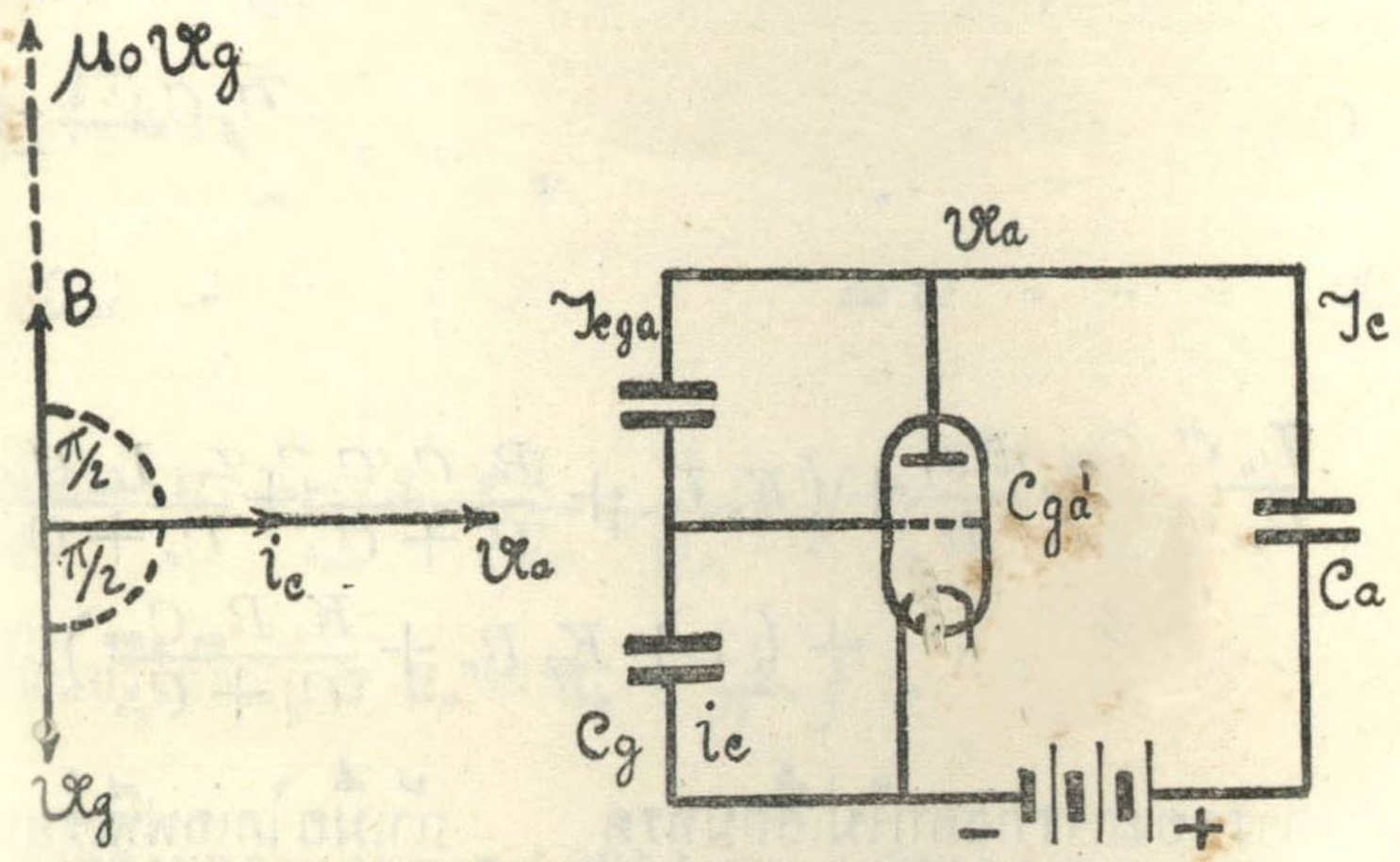
$$\frac{L_a C_g C_{ga}}{C_g + C_{ga}} \cdot \frac{d^2 \Im_L}{dt} + \left(K_2 L_a + \frac{R_a C_g C_{ga}}{C_g + C_{ga}} + \frac{K_1 L_a C_{ga}}{C_g + C_{ga}}\right) \frac{d\Im_L}{dt}$$

$$+ \left(1 + K_2 R_a + \frac{K_4 R_a C_{ga}}{C_g + C_{ga}}\right) \Im_L = 0$$

นี้คือสมการของการกลอกไม่เสื่อมทรุด ถ้าเมื่อโคเอฟฟีเชียนทุของ $\frac{d\Im_2}{dt}$ เท่ากับสูญหรือเป็นลบ โดยเหตุที่เทอมเลขทั้งหมดล้วนแต่เป็นบวกทั้งนั้น ลักษณะที่จะบังเกิดว่าการกลอกไม่เสื่อมทรุดจึงไม่อาจเป็นไปได้ตามเหตุผลที่กล่าวนี้ จึงเป็นที่รู้ได้ว่าวงจรนั้นไม่อาจทำให้เกิดการกลอกต่อเนื่องกันได้

ในการแสดงความสัมพันธ์ทางเลขสำหรับวงจร (ข) และ (ค) ตามทำนองเดียวกันกับที่แล้วมา ก็คงได้ผลเข้าลักษณะอันไม่สามารถจะทำให้เกิดการกลอกโดยไม่เสื่อมทรุดเหมือนดังก่อน เพราะฉะนั้นสำหรับการที่จะทำให้เกิดอาการกลอกในตัวเอง โดยการประสานถ่าย

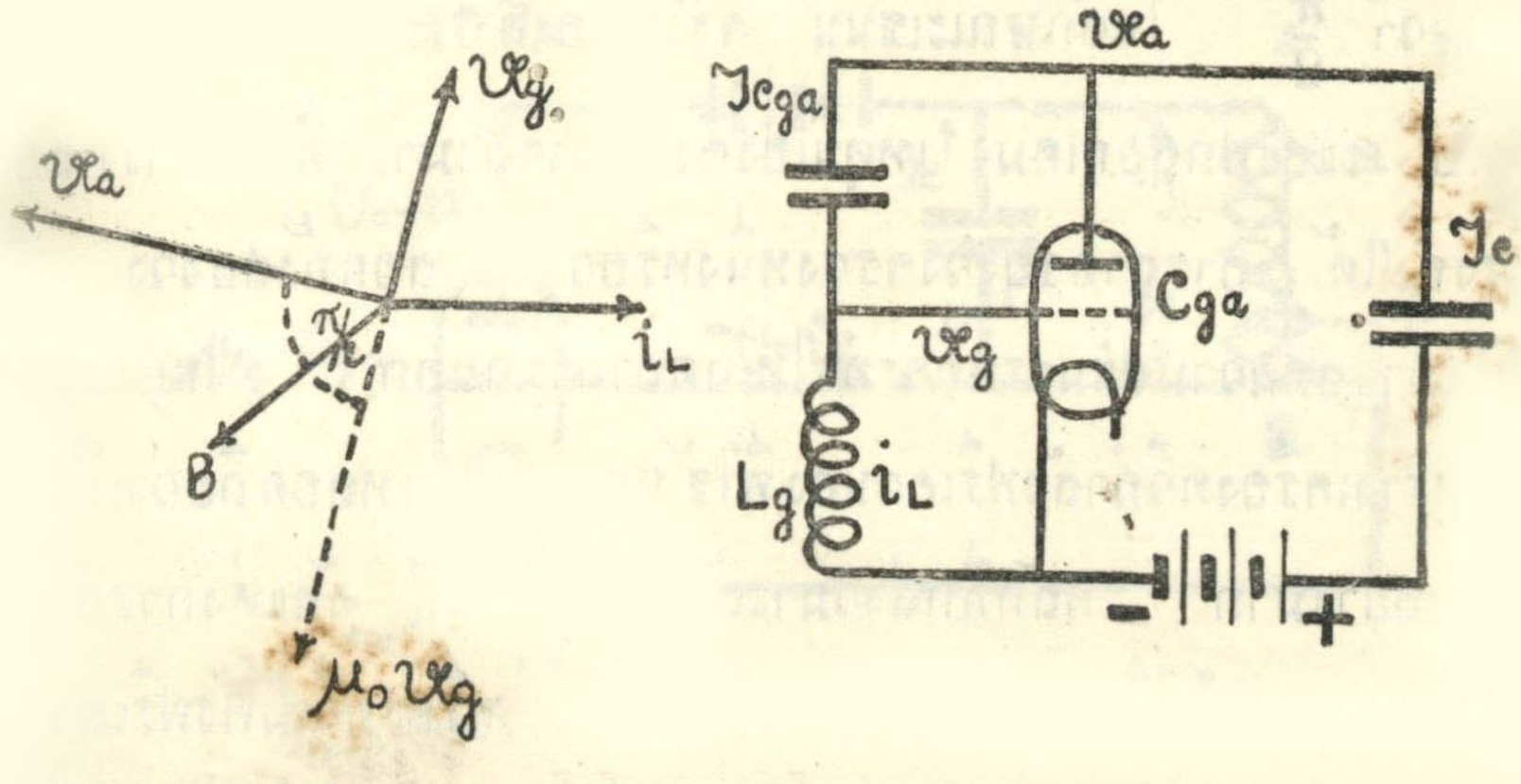
กำลังผ่านคอนเดนเซอร์ที่เรียกว่า Capacity coupling นั้น มีความสำคัญอยู่ว่า ทั้งวงจรกริดและวงจรอาโนดจะต้องมีอินดัคแตนซ์ประกอบอยู่ด้วยจึงจะสำเร็จ แต่เมื่ออินดัคแตนซ์ในวงจรใดวงจรหนึ่งดังกล่าวนั้นแทนด้วยวงจรกลอกแล้ว การกลอกก็สามารถทำให้เกิดขึ้นได้ การแสดงความสัมพันธ์ทางเลขในรายใดรายหนึ่งทั่วไปต่างก็ต้องอาศัยสมการ



รูป ๒๒๖ข แสดงเวคเตอร์ไดอาแกรมสัมพันธ์กับวงจร

Bi-quadratic differential equation ฉะนั้นจึงไม่อาจหาวิธีทำอันสะดวกได้ ในรูปสมการที่เป็น Bi-quadratic นั้น ชี้ให้เห็นว่าฟรีเควนซีแห่งการกลอกย่อมสามารถมีได้สองฟรีเควนซี ทั้งนี้เป็นด้วยมีวงจรประสานถ่ายกำลังให้แก่กัน ในวงจรสองวงที่จูนให้กับฟรีเควนซีขนาดเดียวกัน เวคเตอร์ไดอาแกรมย่อมแสดงว่ากระแสไฟเดินกลับผ่านทางแคแปซิตีตัวประสาน (Coupling capacity) นั้น มีองค์

ประกอบอันใดอันร่วมเฟสกันกับกระแสไฟเดิมไม่ได้ แต่จะต่างเฟสกัน
อยู่เป็นจำนวน 90° ตรง อาการเช่นนี้เป็นไปตามอาการโดยตรงในเมื่อ
เก็บเอากำลังนั้นมาอีก และกระแสไฟในวงจรที่เข้าจนนั้นย่อมร่วมเฟส
กันกับโปเตนเชียลประยุคอยู่เสมอ ฉะนั้น ภายใต้พฤติภาพอันประเสริฐ



รูป ๒๒๖ แสดงเวคเตอรไดอาแกรมสัมพันธ์กับวงจร

เหล่านี้แล้วตัวเยนเนอเรเตอรจะไม่กลอกตามฟรีเควนซีธรรมชาติของวง
จรบนกริดหรือบนอาโนด ในทางใช้การจริง ปรากฏผลว่า ฟรีเควนซี
ที่แผ่กระจายออกนี้เปลี่ยนตาม C_{ga} และค่าของฟรีเควนซีนี้เท่ากับ $\omega/2\pi$
ในเมื่อ

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{\left[L\,C\left(1+\frac{C_{ga}}{C_g}+\frac{C_{ga}}{C_a}\right)\right]}} \quad .. \quad (208)$$

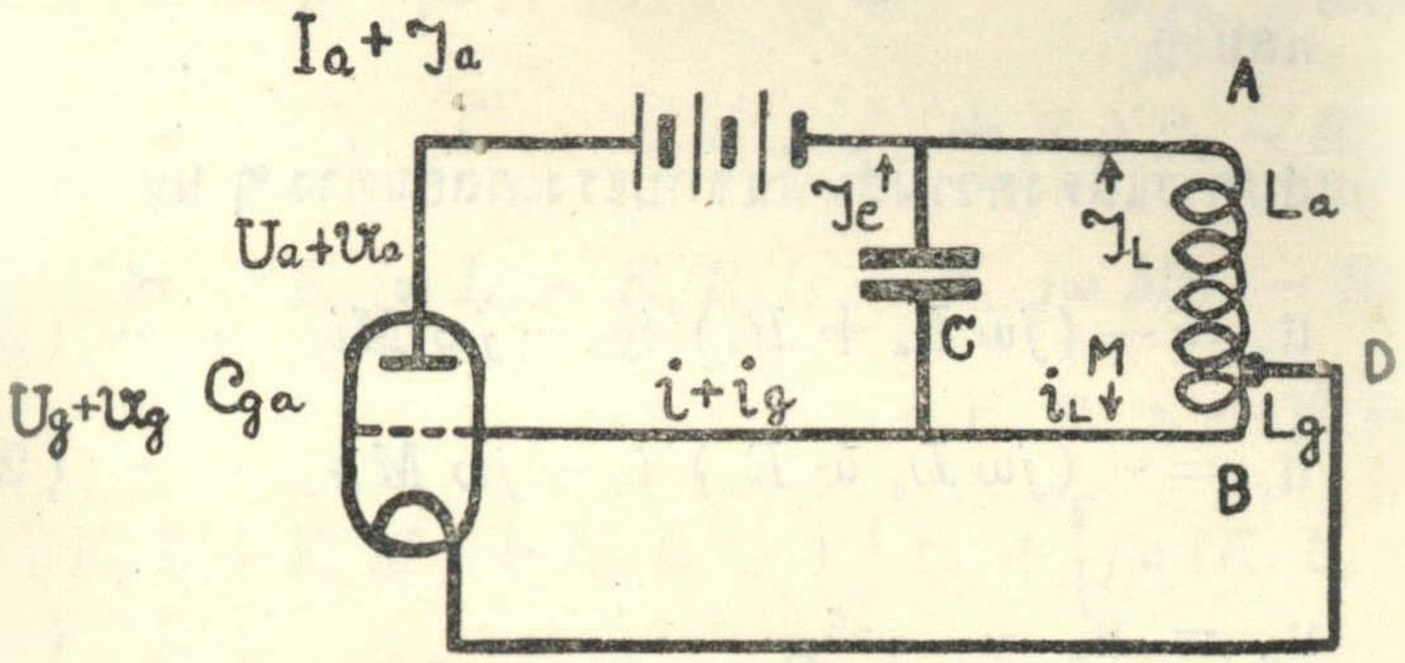
สำหรับวงจรบนกริดและบนอาโนดของหลอดที่ไม่เข้าจุนกันนั้นเวคเตอร
ไดอาแกรมแสดงว่า โดยที่วงจรกลอกลาดมากขึ้น **มุมล้าหลัง** (lag)

หรือมุมขั้นหน้าระหว่างกระแสไฟในวงจรกริดกับกระแสไฟเดินกลับผ่านทางแคแปซิตีประสานถ่ายกำลัง C_{ga} ทวีขึ้นโดยสม่ำเสมอเข้าไปหาค่า $\frac{\pi}{2}$ สำหรับอาการลาดอันไม่มีสิ้นสุด (คือ L_a หรือ $L_g = O$) กระแสไฟที่ชักนำผ่าน C_{ga} ต่างเฟสไปจากกระแสไฟเดิมด้วยจำนวนมุมเท่ากับหรือใหญ่กว่า $\frac{\pi}{2}$ ในลักษณะเช่นนี้ จึงไม่มีองค์ประกอบอันใดร่วมเฟสกันกับกระแสไฟกลอกเดิม เหตุนี้เองจึงไม่อาจสามารถทำให้การกลอกดำรงอยู่ได้ การลาดของวงจรวงหนึ่งหรือวงจรกลอกทั้งสองวง กับผลในการลดความสามารถที่จะทำให้เกิดอาการกลอก ในเมื่อออกแบบสร้างเครื่องทวีกำลังฟรีเควนสูงที่ใช้หลอดหลายหลอดถือว่าเป็นสิ่งสำคัญอย่างมาก หลักที่กล่าวมาแล้วนี้ อาศัยหลักแห่งการกำจัดอาการกลอกอันไม่พึงประสงค์ที่จะบังเกิดมีได้ในเครื่องทวีกำลังฟรีเควนซีสูง ซึ่งใช้หลอดหลายหลอด ส่วนการที่จะนำหลักนี้ไปใช้โดยแท้จริงอย่างไรนั้น จักได้ยกขึ้นพิจารณาโดยละเอียดในบทหนึ่งต่างหาก

ค) <u>วงจรที่มีอินดัคแตนซกับแคแปซิตีทำการบ่อนถ่ายกำลัง</u>

รูป ๒๒๓ อาจเขียนเป็นรูป ๒๒๗ ได้ แต่อินดัคแตนซ L_a และ L_g ต่างประกอบขึ้นด้วยตอนต่าง ๆ ของขดลวดขดเดียวกัน ด้วยเหตุนี้จึงเกิดมีปฏิกริยาชักนำต่อกัน ซึ่งเรียกว่า Mutual reaction ขึ้นในระหว่างขดลวดกริดกับขดลวดอาโนด แคแปซิตีที่แทนด้วยเส้นจุดในรูป ๒๒๓ คือเป็นแคแปซิตี C ในรูป๒๒๗และแคแปซิตีนี้ทำหน้าที่เป็นตัวประสานถ่ายกำลังระหว่างอาโนดกับกริด ฉะนั้นการบังเกิดอาการกลอกจึงบังเกิดขึ้นได้โดยมีกำลังงานเดินกลับผ่านทางประสานถ่ายกำลังทั้งสองนี้

วงจรแบบนี้กำหนดเรียกกันว่าวงจรแบบฮารฺทเลยฺ (Hartley) อาการกลอกนั้นแต่งและบังคับได้โดยการเลื่อนที่แยกทางไฟ D บนขดลวดอินดัคแตนซฺ ด้วยเหตุนี้องค์สำคัญในการทำให้เกิดการกลอก จึงตกอยู่ที่



รูป ๒๒๘ แสดงวงจรที่มีอินดัคแตนซฺ กับแคแปซิตี ทำการบ้อนกำลังถ่าย

การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วน L_a/L_g ร่วมกับการเปลี่ยนแปลงค่าของ M ที่ติดตามไปด้วยในตัว การที่จะให้ได้รับค่าอันเต็มขีด ของอัตราส่วนที่จะทำให้เริ่มเกิด และหยุดการกลอกนั้น จำเป็นที่จะต้องหาสมการสำหรับ $\mathfrak{F}_{Cga}, i_L$ หรือ $\mathfrak{F}_L$ แล้วนำมาหาพฤติภาพที่ว่ารูตของสมการอันจะเป็นอิมเมยินารีนั้นมีอย่างไร จากสมการอย่างเดียวกันนั้น เราอาจนำมาใช้หาฟรีเควนซีแห่งการกลอกได้

เมื่อใช้ตัวอย่างในความสัมพันธ์ส่วนต่าง ๆ ตามที่แสดงอยู่ในรูป ๒๒๗ เราได้สมการ

$$\mathfrak{V}_a = K_1 \mathfrak{U}_g + K_2 \mathfrak{U}_a \quad .. \quad .. \quad (185)$$

$$\mathfrak{V}_a = \mathfrak{V}_L + \mathfrak{V}_C = \mathfrak{V}_L + i_C \quad .. \quad .. \quad (209)$$

ในสมการ (209) นั้น ขอกำหนดเอาว่ากระแสไฟกริดนั้น มีค่าน้อยมาก อาจตัดออกเสียได้

ส่วนสมการแสดงความสัมพันธ์กับแรงเคลื่อนต่าง ๆ นั้น คือ

$$\mathfrak{U}_a = -(j\omega L_a + R_a)\ \mathfrak{I}_L - j\omega M i_L \quad .. \quad .. \quad (210)$$

$$\mathfrak{U}_g = -(j\omega L_g + R_g)\ i_L - j\omega M \mathfrak{I}_L \quad .. \quad .. \quad (211)$$

และ $$\mathfrak{U}_a = \mathfrak{U}_g - \frac{\mathfrak{I}_C}{j\omega C} \quad .. \quad .. \quad .. \quad (212)$$

เมื่อแทนค่าจากสมการ (209), (210) และ (211) ลงใน (212) ก็ได้

$$-(j\omega L_a + R_a)\mathfrak{I}_L - j\omega M i_L = -(j\omega L_g + R_g) i_L$$

$$- j\omega M \mathfrak{I}_E - \frac{\mathfrak{I}_C}{j\omega C}$$

$$-j^2\omega^2 L_a \mathfrak{I}_C - j\omega R_a \mathfrak{I}_E - j^2\omega^2 M i_L = -j^2\omega^2 L_g i_E - j\omega R_g i_E$$

$$- j^2\omega^2 M \mathfrak{I}_E - \frac{\mathfrak{I}_C}{C}$$

$$\left[j^2\omega^2 (L_a - M) + j\omega R_a\right] \mathfrak{I}_E = \left[j^2 \omega^2 (L_g - M)\right.$$

$$\left. + j\omega R_g + \frac{1}{C}\right] i_E \quad .. \quad .. \quad .. \quad (ก)$$

โดยที่ $\mathfrak{I}_C = i_L$

และแทนค่าต่าง ๆ จาก (209), (210) และ (211) กับ (212) ลงใน (185) ทำนองเดียวกันกับที่กล่าวแล้ว

$$\mathfrak{I}_E + \mathfrak{I}_C = -K_1 (j\omega L_g + R_g) i_L - K_1 j\omega M \mathfrak{I}_L - K_2 (j\omega L_a + R_a) \mathfrak{I}_L - K_2 j\omega M i_L$$

$$\mathfrak{I}_E + i_L = -K_1 j\omega L_g - K_1 R_g i_L - K_1 j\omega M \mathfrak{I}_L - K_2 j\omega L_a - K_2 R_a \mathfrak{I}_L - K_2 j\omega M i_L$$

$$\left[j\omega (K_2 L_a + K_1 M) + K_2 R_a + 1\right] \mathfrak{I}_L + \left[j\omega (K_1 L_g + K_2 M) + K_1 R_g + 1\right] i_L = O \quad .. \quad .. \quad .. \quad .. \quad .. \quad (ฉ)$$

จาก (ก) ได้ $\frac{\mathfrak{I}_L}{i_L} = \frac{\left[j^2\omega^2 (L_g - M) + j\omega R_g + \frac{1}{C}\right]}{j^2\omega^2 (L_a - M) + j\omega R_a}$

แทนค่าของ (ก) ลงใน (ฉ) ได้

$$\left[j\omega (K_2 L_a + K_1 M) + K_2 R_a + 1\right] \frac{\left[j^2\omega^2 (L_g - M) + j\omega R_g + \frac{1}{C}\right]}{j^2\omega^2 (R_a - M) + j\omega R_a} + \left[j\omega (K_1 L_g + K_2 M) + K_1 R_g + 1\right] = O$$

$$j^3\omega^3 (K_2 L_a + K_1 M) (L_g - M) + j^2\omega^2 R_g (K_2 L_a + K_1 M) + \frac{j\omega (K_2 L_a + K_1 M)}{C} + j^2\omega^2 (L_g + M) K_2 R_a + j\omega R_g K_2 R_a$$

$$+\frac{K_2 R_a}{C}+j^2\omega^2(L_g+M)+j\omega R_g+\frac{1}{C}+j^3\omega^3(K_1L_g+K_2M)$$

$$(L_a-M)+j^2\omega^2 K_1 R_g(L_a-M)+j^2\omega^2(L_a-M)+j^2\omega^2(K_1 L_g$$

$$+K_2 M)R_a+j\omega K_1 R_g R_a+j\omega R_a=O$$

$$j^3\omega^3\left[(K_1 L_g+K_2 M)(L_a-M)+(K_2 L_a+K_1 M)(L_g-M)\right]$$

$$+j^2\omega^2\left[R_g(K_2 L_a+K_1M)+(L_g-M)K_2 R_a+(L_g-M)\right.$$

$$\left.+K_1 R_g(L_a-M)+(K_1 L_g+K_2 M)R_a\right]+j\omega\left[R_a+R_g\right.$$

$$\left.+\frac{K_2 L_a}{C}+\frac{K_1 M}{C}+K_1 R_g R_a+K_2 R_g R_a\right]+\frac{1}{C}=O$$

เทอมที่ $j^3\omega^3$ นำการถอดวงเล็บได้ผลลัพธ์

$$j^3\omega^3[K_1 L_a L_g-K_1 L_g M+K_2 L_a M-K_1 M^2+K_2 L_g L_a$$

$$-K_2 L_a M+K_1 L_g M-K_1 M^2]=j^3\omega^3[K_1(L_a L_g-M^2)$$

$$+K_2(L_a L_g-M^2)=j^3\omega^3(K_1+K_2)(L_a L_g-M^2)$$

สำหรับเทอมที่ $j^2\omega^2$ และ $j\omega$ ก็คงกระทำการถอดวงเล็บออกเช่นเดียวกัน กำหนดใกล้เคียงให้ค่าของ $K_2 R_a$ กับ $K_1 R_g \ll 1$ ผลของสมการใน ω จะเป็น

$$j^3\omega^3(K_1+K_2)(L_a L_g-M^2)+j^2\omega^2(L_a+L_g-2M)$$

$$+j\omega(R_a+R_g+\frac{K_2 L_a}{C}+\frac{K_1 M}{C})+\frac{1}{C}=O$$

ตามรูปของสมการนี้ คงเข้าลักษณะ

$$j^3\omega^3 A_1+j^2\omega^2 A_2+j\omega A_3+A_4=O$$

พฤติภาพสำหรับให้บังเกิดอาการกลอกนั้น ทำนองเดียวกันกับรายก่อน ๆ คือ

$$\underline{A_1} > \underline{A_2}$$
$$A_3 = A_4$$

$$(K_1 + K_2)(L_a L_g - M^2) \geqq (L_a + L_g - 2M)(R_a + R_g + \frac{K_2 L_a}{C} + \frac{K_2 M}{C}) C$$

ซึ่งอาจทอนเป็น

$$K_1 L_a L_g + K_1 M^2 + K_2 L_a L_g - K_2 M^2 \geqq (R_a + R_g)(L_a + L_g - 2M) C + (L_a + L_g - 2M)(K_2 L_a + K_1 M)$$

$$K_1 L_a L_g - K_1 M^2 + K_2 L_a L_g - K_2 M^2 - K_2 L_a^2 - K_2 L_a L_g + 2 K_2 L_a M - K_1 L_a M - K_1 L_g M + 2 K_1 M^2 \geqq (R_a + R_g)(L_a + L_g - 2M) C$$

$$K_1 (L_a L_g + M^2 - L_a M - L_g M) - K_2 (L_a - M)^2 \geqq (R_a + R_g)(L_a + L_g - 2M) C$$

$$K_1 (L_a - M)(L_g - M) - K_2 (L_a - M)^2 \geqq (R_a + R_g)(L_a + L_g - 2M) C$$

$$K_2 \left\{ \frac{K_1}{K_2} (L_a - M)(L_g - M) - (L_a - M)^2 \right\} \geqq (R_a + R_g)(L_a + L_g - 2M) C$$

โดยที่ $\frac{K_1}{K_2} = \mu_o$

$$K_2 (L_a - M) \left\{ \mu_o (L_g - M) - (L_a - M) \right\} \geqq (R_a + R_g)(L_a + L_g - 2M) C$$

$$\mu_o(L_g-M)-(L_a-M)\gtrless\frac{(R_a+R_g)(L_a+L_g-2M)C}{K_2(L_a-M)}$$

$$\mu_o(L_g-M)\gtrless(L_a-M)+\frac{(R_a+R_g)(L_a+L_g-2M)C}{K_2(L_a-M)} \quad \ldots\ldots (213)$$

สมการในรูปนี้มีสภาพอย่างเดียวกันกับสมการ (209) ผิดกันอยู่หน่อยแต่เพียงว่า (L_a-M) กับ (L_g-M) มาปรากฏอยู่ในที่ของ L_a และ L_g ตามลำดับเท่านั้น

และการสรุปผลของสมการข้างต้นนี้ก็คงถูกได้เช่นเดียวกันกับจากสมการ (209) ซึ่งค่าของ M เท่ากับศูนย์ ฉะนั้นพฤติภาพของสมการ (213) จึงอาจเปรียบเทียบกับสมการ (209) ได้โดยเขียนเป็นรูป

$$\mu_o L_g \gtrless L_a+(\mu_o-1)M+\frac{(R_a+R_g)(L_a+L_g-M)C}{K_2(L_a-M)}$$

หากจะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นใน M แต่อย่างใด ก็มิทำให้ผลของเศษส่วนซึ่งอยู่ข้างขวามือนี้เปลี่ยนแปลงไปมากน้อยอะไร แต่ค่าของ $[L_a+(\mu_o-1)M]$ นั้นจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าของ M เป็นบวก โดยเหตุที่ $\mu_o>1$ และในทำนองตรงข้ามกันคือ ค่าของ $[L_a+(\mu_o-1)M]$ จะน้อยลงเมื่อ M เป็นลบ โดยเหตุนี้เองจึงอาจสรุปความลงได้ว่าถ้าขดลวด L_a และ L_g ประสานถ่ายกำลังให้แก่กันจนอยู่ในอาการที่ว่า M เป็นบวกแล้ว ค่าของ L_g จะต้องเพิ่มขึ้นสำหรับทำให้เกิดอาการกลอกถ้าหากว่าใช้ขดลวดขดเดียวเป็นทั้งสำหรับ L_a และ L_g ดังในรูป ๒๒๗ แล้ว

ค่าของ M จะต้องเป็นลบ ในลักษณะเช่นนี้ อาการกลอกจะดำรงรักษาให้คงอยู่ได้ด้วยค่าของ L_g ที่น้อยกว่า โดยที่ L_a จะถูกลดทอนลง โดยที่ความไม่เท่ากันในสมการ (213) นั้นจะต้องให้เป็นไปได้ และอาการกลอกจะไม่บังเกิดขึ้นในวงจรแบบนี้ ถ้าเมื่อ เมื่อ

(๑) $R_a + R_g$ มีค่าใหญ่เกินไป

(๒) ค่าของ C ใหญ่มากเกินไป

หรือ (๓) M มีค่าเป็นบวกมากเกินไป

สำหรับเกณฑ์โดยทั่ว ๆ ไปนั้น ถ้า $(R_a + R_g)$ เพิ่มขึ้นแล้ว C จักต้องลดลงตามอัตราส่วนกัน และในอาการตรงข้าม ถ้า $(R_a + R_g)$ ลดน้อยลงแล้ว C จะต้องเพิ่มขึ้นให้ได้อัตราส่วนกัน ถ้าหากว่า M เป็นบวกแล้ว ค่าของ L_a/L_g จักต้องเล็ก ลักษณะต่าง ๆ ที่กล่าวนี้จักต้องจำใส่ใจไว้เป็นหลักพิจารณาในทางใช้การอยู่เสมอ

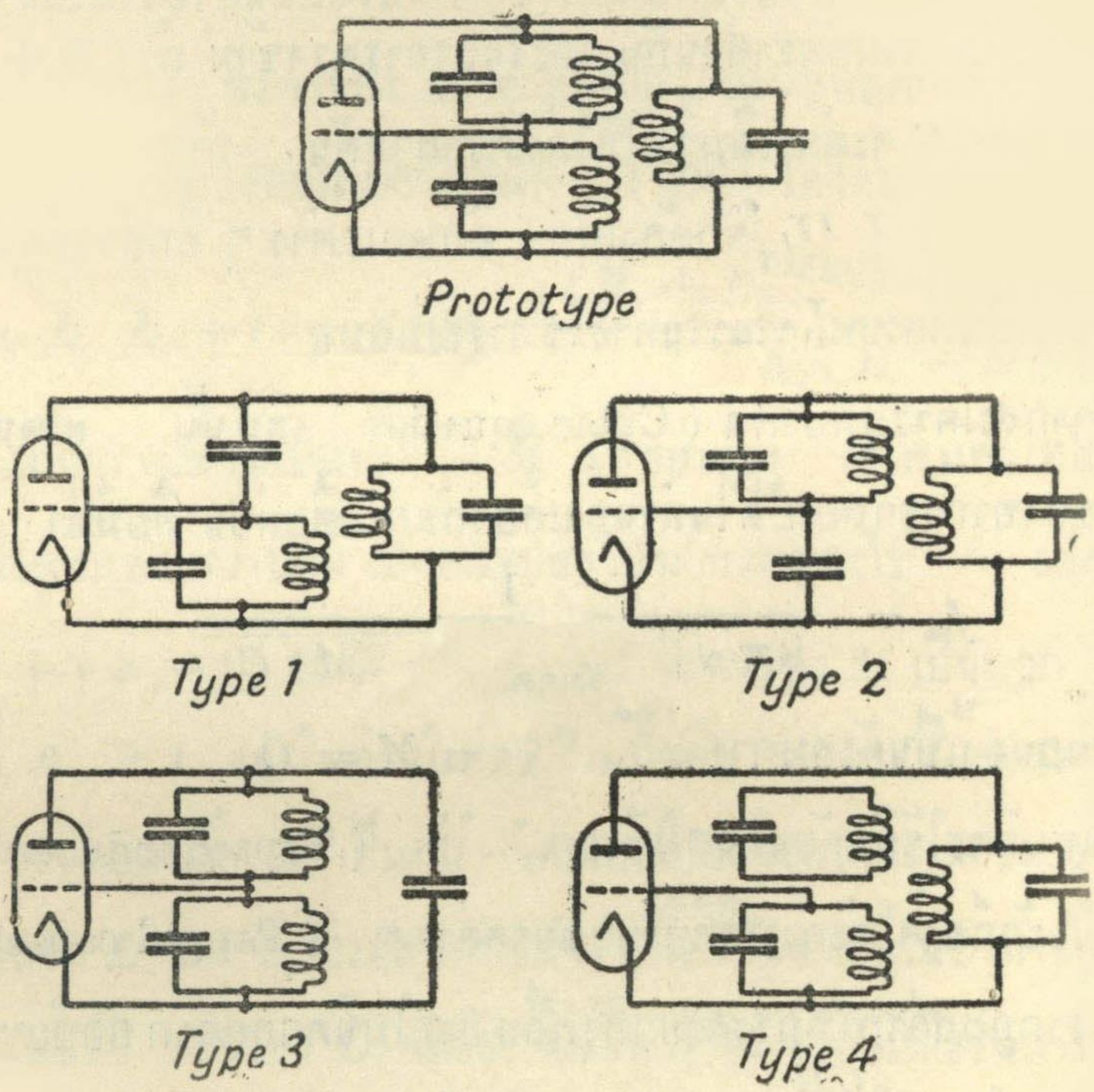
จากสมการลูกบาศก์ (Cubic equation) เดิมนั้น อาจหาฟรีเควนซี่ของอาการกลอกได้ในทำนองเดียวกันกับเมื่อก่อน คือมีค่า

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{[(L_a + L_g - 2M)\,C}}$$

ซึ่งอาจทอนลงเป็นดังสมการ 203 ได้เมื่อ $M = 0$

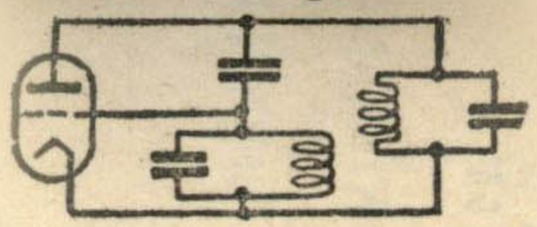
แทนที่จะใช้อินดักแตนซ์มีที่แยกทางให้ (Tapped inductance) ดังกล่าวแล้วก็อาจใช้แคแปซิตีที่แยกขนาดต่าง ๆ (Tapped capacity) ซึ่งจะปรากฏผลว่าการ กระจายของคลื่น ฮารฺโมนิคออกจาก ออซิเลเตอรฺ อันทำความลำบากให้นั้น ถูกลดทอนลงอย่างมากมาย

ยังมีวงจรหลอดสำหรับทำให้เกิดกระแสไฟฟรีเควนซีสูงแบบอื่น ๆ อีกหลายแบบ แต่ละแบบนั้นล้วนแต่เป็นแบบที่ดัดแปลงหรือผะสมจากแบบต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้วในข้อ ๕ ก, ข และ ค ของตอนนี้แล้วทั้งสิ้น เพราะฉะนั้นจึงจะไม่ขอแสดงความสัมพันธ์ในทางเลขของแบบนั้น ๆ ไว้ โดยที่ในวงจรนั้น ๆ ไม่มีความยากเป็นพิเศษแต่อย่างใดที่จะทำการพิจารณา จึงขอนำเอาแต่เพียงวงจรอันปราศจากแบตเตอรี่ มาแสดงไว้ในรูป ๒๒๙ ก, ข และ ค เพื่อเป็นหนทางพิจารณาเปรียบเทียบวงจรทางตำราและทางใช้การว่ามีความแตกต่างกันอย่างไรบ้าง



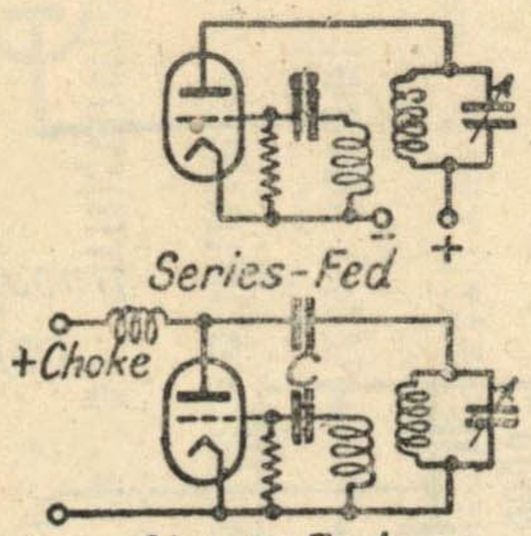
รูป ๒๒๙ ก.

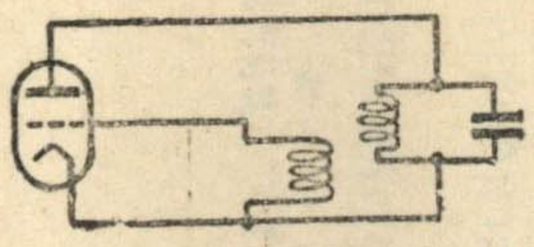
Schematic Diagram



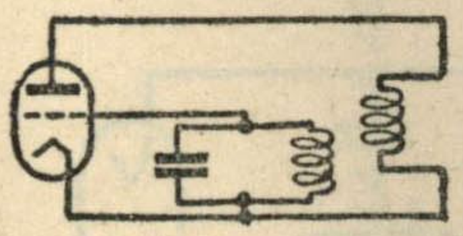
Prototype

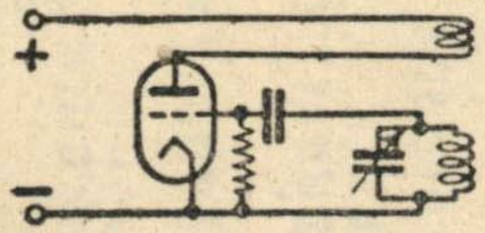
Practical Circuit





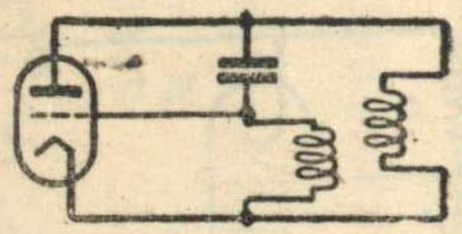
Type 1(a)
Tuned-Anode Circuit



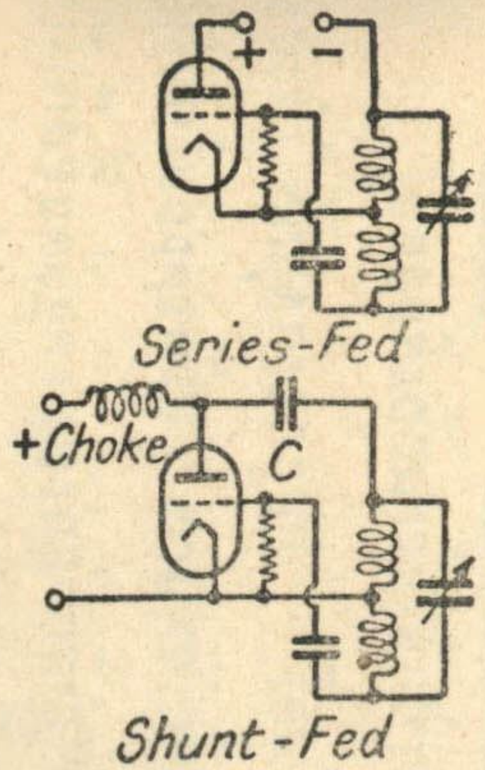


Type 1(b)
Tuned-Grid Circuit

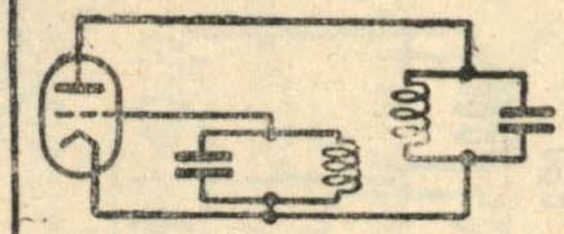
Schematic Diagram



Practical Circuit

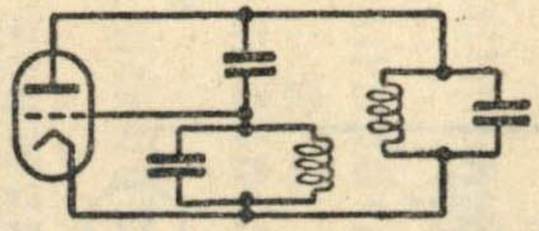


Type 1(c)
Hartley Circuit



Not commonly employed

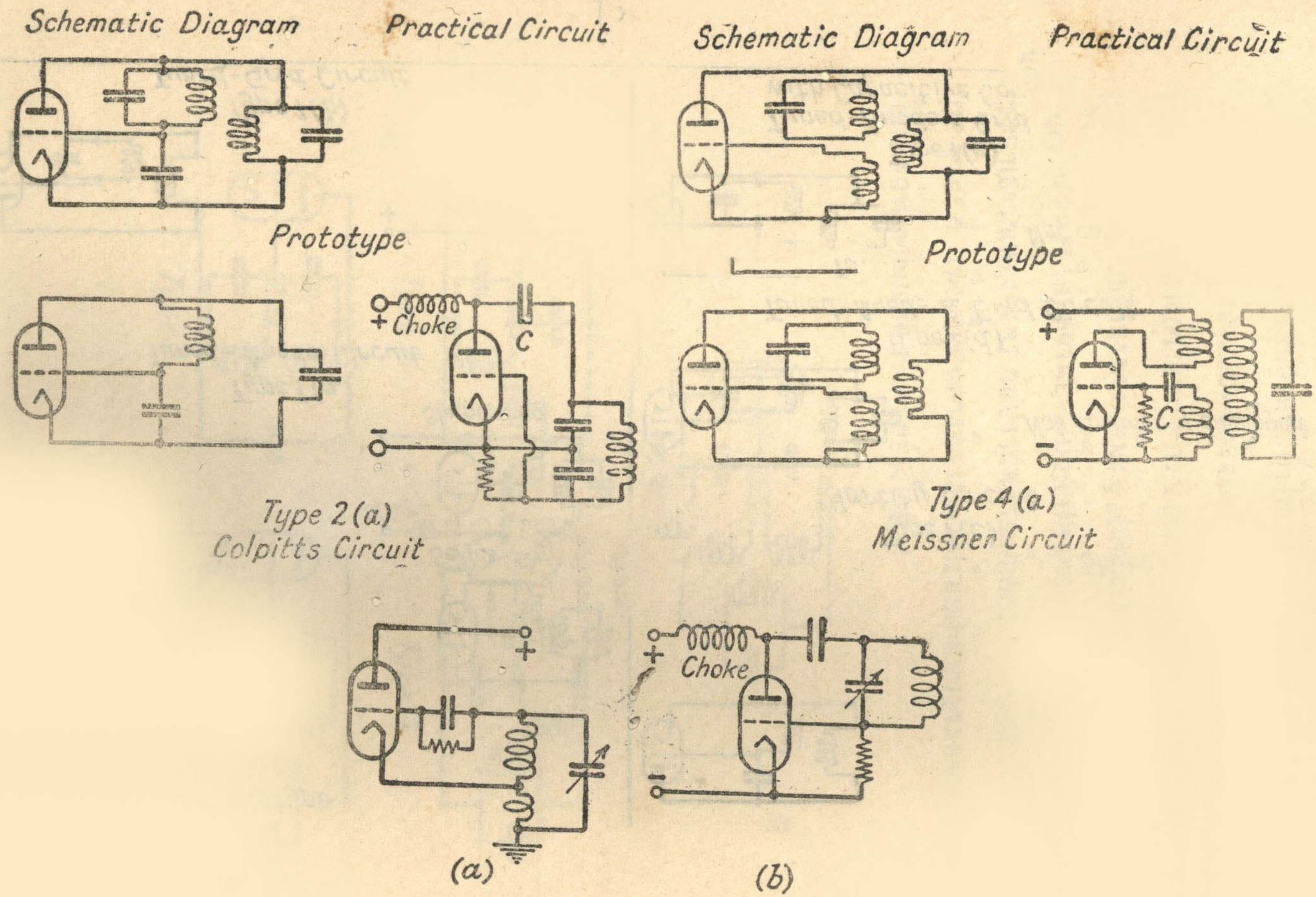
Type 1(d)
Tuned-Anode & Grid Circuit



Not commonly employed

Type 1(e)
Tuned-Anode & Grid Circuit
with Capacitive Coupling

รูป ๒๒๘ ข.


Schematic Diagram
Practical Circuit
Prototype
Schematic Diagram
Practical Circuit
Prototype
+ Choke
C
Type 2 (a)
Colpitts Circuit
Type 4 (a)
Meissner Circuit
C
(a)
(b)
+ Choke

รูป ๒๒๙ ค.

๖) การจำกัดเขตต์กระแสไฟ

ในตอนที่แล้วมานั้นได้กล่าวถึงพฤติภาพอันจำเป็นสำหรับทำให้เกิดและทำให้หยุดการกลอก โดยมิได้พิจารณาถึงค่าของกระแสไฟกลอกที่ไหลในวงจรด้วย ตามหลักทั่ว ๆ ไปมีว่า ค่าสูงสุดของกระแสไฟบังเกิดขึ้นด้วยค่าของหน่วยที่ทำการประสานถ่ายกำลัง ใหญ่กว่าค่าอันสูงสุดที่จำเป็นสำหรับให้เริ่มมีการกลอกสักเล็กน้อย การแต่งอาการประสานถ่ายกำลังเพื่อให้ได้รับกระแสไฟสูงสุดนั้น อยู่ต่ำกว่าเขตต์สูงสุดอันบนที่จะทำให้การกลอกหยุดลงเป็นจำนวนมาก สำหรับหลอดเยนเนอเรเตอร์(ออสซิเลเตอร์) ส่วนมากรูปร่างของเส้นโค้งกระแสไฟมีรูปร่างอย่างเดียวกันกับที่แสดงอยู่ตามรูป ๒๒๙ ที่จักได้หยิบยกขึ้นพิจารณาต่อไปข้างล่างนี้ เป็นเรื่องของวงจรที่ได้กล่าวแล้วแต่เบื้องต้นสองสามแบบ คือวงจรที่มีการประสานถ่ายกำลังป้อนกลับด้วยการชักนำอินดัคติฟซึ่งแสดงอยู่ในรูป ๒๒๑ วงจรประสานถ่ายกำลังป้อนกลับ ด้วยอาการแคแปซิติฟอย่างง่าย ดังแสดงอยู่ในรูป ๒๒๓ และวงจรแบบฮาร์ทเลย์ซึ่งแสดงอยู่ในรูป ๒๒๗ ทั้งสามแบบที่กล่าวนี้เป็นแบบสำคัญที่สุดของออสซิเลเตอร์ที่ใช้หลอดทั้งสามประเภท และจักได้นำขึ้นพิจารณาตามลำดับเรียงกันไป คือ

ก) ออสซิเลเตอร์ป้อนกำลังกลับด้วยอินดัคแตนซ์

ซึ่งในตอนต้นกำหนดให้เรียกมาแล้วว่า “วงจรอินดัคติฟ” ส่วนกระแสไฟ $\mathfrak{S}_a$ ในหลอดที่เป็นเยนเนอเรเตอร์อันประกอบด้วยขดลวดกริดรีแอคชันกับวงจรกลอกอาโนดนั้น กำหนดเป็นสมการว่า

$$\mathfrak{F}_a = K_2 \sqrt{[R_a^2 + \omega^2 (\mu_o M + L_a)^2]}\, \mathfrak{F}_2' \sin (\omega t + \frac{\pi}{2} + B)$$

เพราะฉะนั้นค่าสูงสุดของ $\mathfrak{F}_a$ จึงเป็น

$$\mathfrak{F}_{aa}' = K_2 \sqrt{[R_a^2 + \omega^2 (\mu_o M + L_a)^2]}\, \mathfrak{F}_2'$$

และรูปสมการข้างบนนี้อาจเขียนเป็นอีกอย่างหนึ่งได้คือ

$$\mathfrak{F}_L' = \frac{\mathfrak{F}_a'}{K_2 \sqrt{[R_a^2 + \omega^2 (\mu_o M + L_a)^2]}}$$

ถ้านำสมการ 192 มาก็จักได้พฤติภาพที่จะต้องมีสำหรับให้เริ่มเกิดอาการกลอกเป็น

$$M = -\left(\frac{C_a R_a}{K_1} - \frac{L_a}{\mu_o}\right)$$

จากสมการข้างบนนี้

$$(\mu_o M + L_a) = -\frac{C_a R_a}{K_2} \quad \text{โดยที่} \quad \mu_o = \frac{K_1}{K_2}$$

โดยใช้ค่าที่กล่าวนี้ร่วมกับผลแห่งความจริงที่ว่า $\omega^2 = \frac{1}{L_a C_a}$ จึงได้

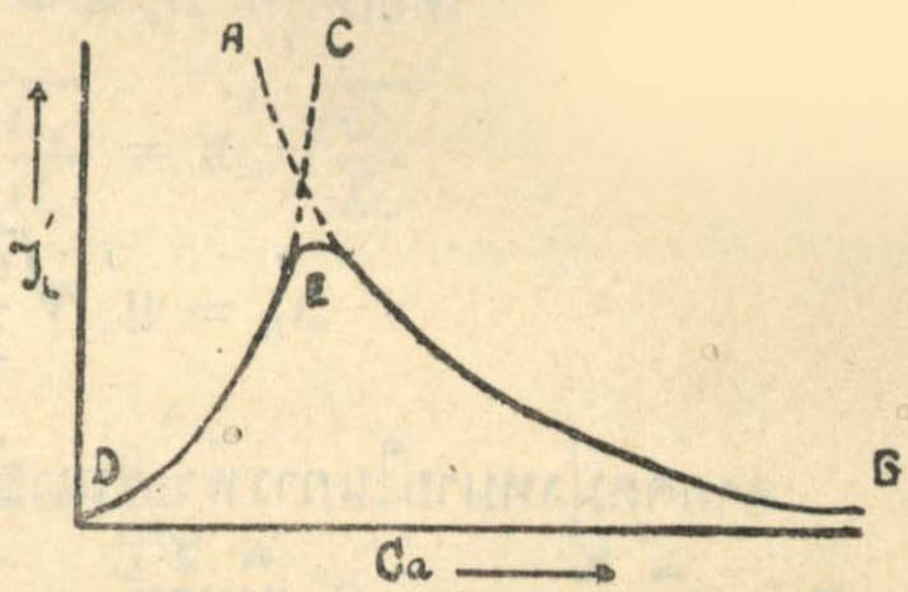
$$\mathfrak{F}_L' = \frac{\mathfrak{F}_a'}{R_a \sqrt{(\frac{C_a}{L_a} + K_2^2)}}$$

โดยเหตุที่ $K_3^3 \ll \frac{C_a}{L_a}$ จึงทอนสมการข้างบนลงเป็น

$$\mathfrak{F}_L' \approx \frac{\mathfrak{F}_a'}{R_a} \sqrt{\frac{L_a}{C_a}} \qquad .. \qquad .. \qquad (213)$$

ความสัมพันธ์ในส่วนของสมการข้างต้นนี้ เป็นเครื่องสำหรับหาอาการสัมพันธ์ของกระแสไฟกลอกอันขึ้นอยู่กับความกระด้าง (Stiffness) ของวงจรกลอก ความต้านทานโอมและค่าสูงสุด S_a ของกระแสไฟอาโนดที่เปลี่ยนแปลงค่าทั้งสิ้น

ถ้าค่าของ C_a อย่างเดียวเปลี่ยนแปลงไป กระแสไฟจะลดน้อยลงในเมื่อ C_a เพิ่มขึ้น เพราะเหตุว่า กระแสไฟเป็นปฏิภาคตรงข้ามกับสะแควรูทของ C_a อาการที่ว่านี้แสดงด้วยเส้นโค้ง AB ในรูป ๒๒๙



รูป ๒๒๙ แสดงความสัมพันธ์ของกระแสไฟ S_L' กับแคแปซิตี C_a

ในทางใช้การปรากฏว่าด้วยค่าของ C_a น้อย ๆ นั้นกระแสไฟ S_L' ทวีขึ้นโดยรวดเร็วเป็นไปตามรูปเส้นโค้ง DE เพราะฉะนั้นจึงยังมีแฟคเตอร์อันมีกำลังอื่นอีกบางองค์ทำหน้าที่บังคับค่าสูงสุดของกระแสไฟ S_L สำหรับค่าน้อย ๆ ของ C_a ตามผลแห่งความจริงนั้นคือกระแสไฟใน L_a ขึ้นอยู่กับค่าของ u_a อันเป็นองค์ประกอบอันเปลี่ยนแปลงของแรงเคลื่อนอาโนดเช่นเดียวกันกับ S_a องค์ประกอบอันเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟอาโนดโดยเหตุนี้ค่าของ S_L' จึงอาจหาได้โดยองค์ซึ่งจำกัดกระแสไฟอยู่มากที่สุด

ในวงจรที่กำลังพิจารณาอยู่นี้ S_L' ขึ้นอยู่กับ u_a' อันเป็นไปตามสมการ

$$\mathfrak{z}_L' = \frac{u_a'}{\sqrt{(R_a^2 + \omega^2 L_a^2)}}$$

ในเมื่อ u_a' เป็นค่าสูงสุดของ u_a และตัวอื่น ๆ อันรวมอยู่กับอาการสัมพันธ์ก่อน ๆ โดยเหตุที่ $R_a \ll \omega L_a$ และ $\omega^2 = \frac{1}{L_a C_a}$ เราจึงได้

$$\mathfrak{z}_L' = u_a' \sqrt{\frac{C_a}{L_o}} \quad .. \quad .. \quad .. \quad (214)$$

จากจุดมุ่งหมายในการพิจารณาอันนี้ จึงเห็นได้ว่ากระแสไฟใน L_a จะเพิ่มขึ้นตามที่ C_a เพิ่มขึ้น อาการที่ว่านี้แสดงให้เห็นได้ตามเส้นโค้ง DC

องค์สำหรับจำกัดกระแสไฟสององค์นี้สำแดงผลต่อค่าของกระแสไฟ $\mathfrak{z}_L'$ ในทิศตรงข้าม และการทดลองได้แสดงให้เห็นว่าค่าอันแท้จริงของ $\mathfrak{z}_L'$ นั้นหาได้โดยแฟคเตอร์หรือองค์ซึ่งทำหน้าที่จำกัดกระแสไฟอยู่เป็นส่วนใหญ่ อาการที่กล่าวนี้เข้าในตัวอย่างของท่อน้ำซึ่งมีฝาบีดช่องปลายท่อที่เปลี่ยนแปลงขนาดช่องได้ทั้งสองช่อง คือว่า เนื้อที่ของช่องหนึ่งเพิ่มขึ้น เนื้อที่ของอีกช่องหนึ่งเล็กลง จำนวนน้ำไหลผ่านนั้นจะหาได้จากช่องที่เล็กกว่า และการไหลของน้ำจะมีมากที่สุดเมื่อช่องทั้งสองเบิดเท่า ๆ กัน ค่าสูงสุดที่ได้รับตามทางใช้การนั้นจะน้อยกว่าค่าที่สามารถจะหาได้จากช่องใหญ่ที่สุดของฝาบีดอันใดอันหนึ่งที่พิจารณาแยกกัน ในเรื่องไฟฟ้าก็ทำนองเดียวกัน ค่าสูงสุดของ $\mathfrak{z}_L'$ ที่ได้รับ

ในทางใช้การนั้นจะต้องน้อยกว่าค่าที่หาได้โดยสมการ (213) หรือสมการ (214) และกระแสไฟสูงสุดนี้จะบังเกิดขึ้นเมื่อพฤติภาพแห่งการจำกัดกระแสไฟทั้งสองลักษณะนั้นเท่ากัน อาการอันนี้แสดงโดยจุดตัดกันของเส้นโค้งสองเส้น AB และ CD ซึ่งจะกำหนดได้จาก

$$\mathfrak{I}_L' = \frac{\mathfrak{E}_a'}{B_a}\sqrt{\frac{L_a}{C_a}} = \mathfrak{U}_a'\sqrt{\frac{C_a}{L_a}}$$

คือว่า

$$\frac{L_a}{C_a R_a} = \frac{\mathfrak{U}_a'}{\mathfrak{I}'}$$

ค่าสูงสุดของแรงเคลื่อนเปลี่ยนแปลงที่อาโนดหารด้วยกระแสไฟเปลี่ยนแปลงอาโนดที่สัมพันธ์ตาม จะเป็นค่าสูงสุดของความต้านทานกระแสไฟสลับของหลอด ถ้า $1/K_2$ ใช้เป็นความต้านทานกระแสไฟสลับของหลอด ซึ่งเรียกตามภาษาอังกฤษว่า “ Valve A. C. resistance ” ดังกล่าวในเรื่องตัวประจำของหลอดแล้วก็จะได้สมการ

$$\frac{L_a}{C_a R_a} = \frac{1}{K_2} \quad .. \quad .. \quad .. \quad (215)$$

อันนี้เป็นพฤติภาพสำหรับกระแสไฟกลอกสูงสุดและเท่ากับสภาพที่ใช้ได้แก่บรรดาเครื่องเยนเนอเรเตอร์ทั้งหลาย คือว่างานที่ต้องออกแรงภายนอก (External load) $L_a/C_a R_a$ จะต้องเท่ากันกับความต้านทานภายใน R_i ($1/K_2$) จึงจะได้กำลังทำงานสูงที่สุด ซึ่งเรียกว่า “ Maximum output.”

โดยทั่วไปแล้ว เส้นโค้ง CD ในรูป ๒๒๙ ชันกว่าเส้นโค้ง AB อยู่มาก เหตุนเองกระแสไฟกลอกสูงสุดจึงบังเกิดขึ้นสำหรับค่าของ M อยู่ใกล้กับค่าเหมาะที่สุดที่จะทำให้เริ่มเกิดอาการกลอกโดยใกล้ชิด ยิ่งไปกว่าค่าเหมาะที่สุดในเขตต่ำที่จะหยุดกลอก คือหมายความว่า เมื่อการประสานถ่ายกำลังชิดเข้าหากันตามลำดับ ค่าสูงสุดของกระแสไฟกลอกนี้จะได้รับในทันใดหลังจากหลอดได้เริ่มต้นกลอก

ค่าของกระแสไฟสูงสุดนี้ หาได้โดยทำให้อัตราส่วน $\sqrt{\frac{L_a}{C_a}}$ จากสมการ (213) และ (214) คือ

$$\mathfrak{z}_L' \approx \frac{\mathfrak{z}_a}{R_a}\sqrt{\frac{L_a}{C_a}} \qquad (213)$$

$$\mathfrak{z}_L' \sim u_a'\sqrt{\frac{C_a}{L_a}} \qquad 2(214)$$

$$(213)\cdot(214) \qquad (\mathfrak{z}_L')^2 \sim \frac{\mathfrak{z}_a'}{R_a}\cdot u_a'\sqrt{\frac{L_a\cdot C_a}{C_a\cdot L_a}}$$

$$(\mathfrak{z}_L')^2 = \frac{\mathfrak{z}_a'\cdot u_a'}{R_a}$$

$$\mathfrak{z}_L' = \sqrt{\frac{\mathfrak{z}_a'\cdot u_o'}{R_o}}$$

ถ้าค่าสูงสุดหรือค่าอิ่มตัวของกระแสไฟตรงที่อาโนดแทนด้วย $I_{a\,max}$ แล้ว $\mathfrak{z}_a'$ อันเป็นแอมปลิจูดของการเปลี่ยนแปลงสูงสุดจะเป็น $I_{a\,max}/2$ ค่าอันนี้จะได้ก็แต่จุดทำงานบนเส้นโค้งลักษณะ Grid voltage anode

current characteristic อยู่ตรงจุดกึ่งกลางของเส้นโค้ง (ดูรูป ๒๓๐) ภายใต้ลักษณะเหล่านี้จึงได้

$$\Im_L' \approx \sqrt{\frac{u_a'^2 I_{a_{max}}}{2R_a}}$$

ในทางใช้การค่าสูงสุดอันที่แสดงตามสมการข้างบนนี้ไม่เป็นจริง ส่วนที่คลาดเคลื่อนกันระหว่างค่าทางทฤษฎีและค่าทางใช้การนั้น เนื่องมาจากความต่างกันในส่วนสูงของยอด E (ยอดเส้นโค้ง) และจุดตัดกันของเส้นโค้งสองเส้น ส่วนความคลาดเคลื่อนอย่างอื่นที่เหลืออยู่นั้นเนื่องจากผลแห่งความจริงที่ว่าค่าของ $I_{a_{max}}$ นั้นได้มาจากเส้นลักษณะสแตติค (Static characteristic) มีค่าใหญ่กว่าค่าสูงสุดอันแท้จริงซึ่งหาได้มาจากเส้นลักษณะไดนามิค (Dynamic characteristic) รูปร่างของกระแสไฟนี้อาจหาได้จากวิธีต่อไปคือ

เหตุใดก็ตามซึ่งยังผลในการเพิ่ม $\Im_L$ ให้มากขึ้นนั้น ย่อมจะทำให้การตกต่ำของโปเตนเชียลในอินดัคแตนซ์ L_a ทั่วขึ้น โดยเหตุนี้การตกต่ำของโปเตนเชียลทั้งสิ้นรอบวงจรบรรจบ (รวมทั้งหลอดด้วย) จะมีค่าประจำและเท่ากันกับแรงเคลื่อนประยุคถ้าถังสูง (Applied high tension) จำนวนทั่วของโปเตนเชียลตกต่ำลงใน L_a จะต้องมีการลดน้อยลงของโปเตนเชียลในระหว่างหลอดติดตามมาด้วย ฉะนั้นการเพิ่มขึ้นของกระแสไฟ AB (รูป ๒๒๙) จะยังผลในการทำให้โปเตนเชียลที่อาโนดลดน้อยลง อันเป็นเหตุทำให้จุดทำงาน (Working point) ของหลอด

เคลื่อนที่เลื่อนไปยังเส้นลักษณะ CD อันเป็นเส้นของโปเตนเชียลอาโนดต่ำกว่า ส่วนกระแสไฟอันสำแดงผลลัพธ์นั้นทวีขึ้น เพราะฉะนั้นจึงแทนด้วยเส้นจุด AOC ฉะนั้นกระแสไฟกลอกจึงเพิ่มขึ้นและลดลงอนุโลมตามเส้นลักษณะซึ่งมีความชันน้อยกว่าเส้นลักษณะสแตติคตามธรรมดา ยิ่งกว่านั้นพฤติภาพของอาการกลอก คือ

$$M < -(C_a R_a + K_2 L_a)/K_1$$

จะสังเกตสูงที่ค่าของ K_1 มีค่าน้อยลง ๆ จนกระทั่งกลายเป็นศูนย์ ตรงส่วนลาดของเส้นโค้งลักษณะ ตรงจุดบางจุด ถือเอาว่าที่ P และ P' ค่าของ K_1 ลดน้อยลงจนถึงเซตต์ที่ว่า

$$M = -(C_a R_a + K_2 L_2)/K_1$$

เมื่อเลยเซตต์นี้ไปแล้วพฤติภาพสำหรับที่จะให้ดำรงการกลอกอยู่ได้นั้นก็สิ้นสุดลง ฉะนั้นความสูงของเส้นลักษณะไดนามิคจึงน้อยกว่าของเส้นลักษณะสแตติค ด้วยประการฉะนี้เองค่าสูงสุดของแอมปลิจูดของกระแสไฟกลอก (คือ $\frac{1}{2}PP'$) จึงน้อยกว่าค่าที่กำหนดให้โดย $\frac{1}{2}I_{a_{max}}$ ในเมื่อ $I_{a_{max}}$ เป็นกระแสไฟอิ่มตัวภายใต้สภาพอาการสแตติค

ในทางใช้การกระแสไฟมิได้เพิ่มขึ้นและลดลงตามเส้นจุด PAOCP แต่จะเปลี่ยนไปตามเส้นโค้งรูปอิลพที่เบียว ๆ ดังแสดงในรูป ๒๓๐ การที่บังเกิดเป็นรูปอิลพขึ้นเช่นนี้ก็เพราะเหตุว่าการเปลี่ยนแปลงในกระแสไฟอาโนดมิได้อยู่ในเฟสเดียวกันกับการเปลี่ยนแปลงของโปเตนเชียลที่กริดมุมเฟสนี้คือมุม β ที่แสดงอยู่ในรูป ๒๒๐ โดยการสมมติให้เส้นโค้ง

ลักษณะเป็นเส้นตรง รูปของอิลิพส์ก็จะไม่เบี้ยว แล้วสมการของอิลิพส์นี้อาจหาได้จากสมการสำหรับ u_g และ $\mathfrak{z}_a$ (ดูในหน้า ๔๑๐ และ ๔๑๔) คือ

$$u_g = -\omega M \mathfrak{z}_L' \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

และ

$$\mathfrak{z}_a = -\omega (K_2 L_a + K_1 M) \mathfrak{z}_L' \cos\omega t - K_2 R_a \mathfrak{z}_a' \sin\omega t$$

สมการของเส้นโค้งแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\mathfrak{z}_a$ กับ u_g นี้หาได้โดยทำให้ค่าของ t จากสมการทั้งสองข้างบนนี้หมดไป เราจึงได้

$$\mathfrak{z}_L' \cos\omega t = + \frac{u_g}{\omega M} \quad .. \quad .. \quad .. \quad .. \quad (ก)$$

และ

$$\mathfrak{z}_L' \sin\omega t = -\frac{\mathfrak{z}_a + \omega (K_2 L_a + K_1 M) \mathfrak{z}_L' \cos\omega t}{K_2 R_a}$$

$$= -\frac{\mathfrak{z}_a - \frac{(K_2 L_g + K_1 M) u_a}{M}}{K_2 R_a} \quad .. \quad (ข)$$

โดยเอา

(ก) + (ข)^2 ได้

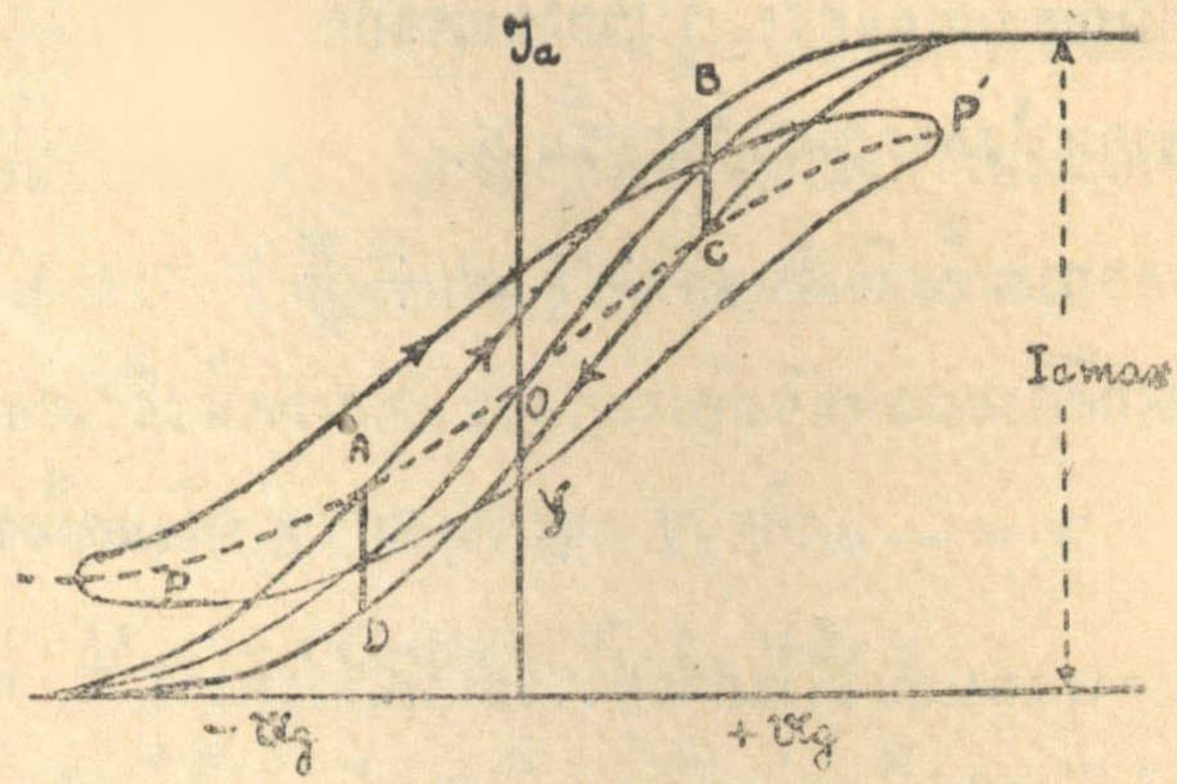
$$(\mathfrak{z}_L'^2) = \frac{u_g^2}{\omega^2 M^2} + \left[\frac{M \mathfrak{z}_a - (K_2 L_a + K_1 M) u_g}{K_2 R_a M}\right]^2$$

นี่คือสมการของอิลิพส์ซึ่งเส้นตัด YX (รูป ๒๓๐) หาได้โดยค่าของ $u_g = O$ แล้ว $\mathfrak{z}_a$ จะกลายมาเท่ากับ $\pm K_2 R_a \mathfrak{z}_L'$ ฉะนั้นเส้นตัดจะเพิ่มยาวขึ้นในเมื่อ R_a ทวีขึ้น อาการอันนี้เป็นอาการซึ่งหวังจะเกิดจาก

สิ่งที่เกี่ยวกับมุมเฟส β ดังกล่าวแล้วในรูป ๒๒๐ รูปอิลิพส์เปลี่ยนแปลงรูปลงมาเป็นเส้นจุด PAOCP' ในเมื่อ $\beta = O$ หรือเมื่อ $K_2 R_a \Im_L = O$ และโดยที่

$$tg\beta = \frac{R_a}{-\omega (L_a + \mu_o M)}$$

ลักษณะทั้งนี้จะเป็นผลได้จริงก็ต่อเมื่อ $R_a = O$



รูป ๒๓๐ แสดงความสัมพันธ์ของกระแสไฟกลอก $\Im_a$ อันสัมพันธ์ขึ้นอยู่กับ u_g ในลักษณะเป็นรูปอิลิฟส์

ข) <u>ออสซิเลเตอร์ป้อนกำลังกลับด้วยแคแปซิตี้</u>

ซึ่งตอนต้นกำหนดให้เรียกมาแล้วว่า วงจรแคแปซิตี้ฟในหน้า ๔๓๐ ได้กล่าวถึงพฤติภาพสำหรับการเริ่มต้นมีอาการกลอกในออสซิเลเตอร์ที่ใช้หลอดของรูป ๒๒๓ มาแล้ว คราวนี้มีความประสงค์ใคร่จะหาพฤติภาพซึ่งจะทำให้เกิดมีการกลอกอย่างสูงนั้นอย่างไร

โดยแทนค่าของ u_a [สมการ (198)] ลงในสมการ (185) คือ

(185) $$\Im_a = K_1 u_g + K_2 u_a$$

(198) $$u_a = -(j\omega L_a + R_a)\Im_L = u_g - \frac{\Im_{Cga}}{j\omega C_{ga}}$$

$$\mathfrak{Z}_a = K_1 \mathfrak{U}_g + K_2 \left(\mathfrak{U}_g - \frac{\mathfrak{Z}_{Cga}}{j\omega C_{ga}} = (K_1+K_2)\, \mathfrak{U}_g - \frac{K_2\, \mathfrak{Z}_{Cga}}{j\omega C_{ga}} \right.$$

$$\mathfrak{Z}_a = (K_1 + K_2)\, \mathfrak{U}_g - \frac{K_2\, \mathfrak{Z}_{Cga}}{j\omega C_{ga}} \quad .. \quad .. \quad (216)$$

เมื่อนำค่าของสมการ (199) $\mathfrak{U}_g = -(j\omega L_g + R_g)\, \mathfrak{Z}_{Cga}$ แทนลงใน (216) จะได้

$$\mathfrak{Z}_a = (K_1 + K_2) \left\{ -(j\omega L_g + R_g)\, \mathfrak{Z}_{Cga} \right\} - \frac{K_2\, \mathfrak{Z}_{Cga}}{j\omega\, C_{ga}}$$

$$\mathfrak{Z}_a = -\left[j\omega L_g (K_1 + K_2) + R_g (K_1 + K_2) + \frac{K_2}{j\omega C_{ga}} \right] \mathfrak{Z}_{Cga}$$

ทำการกระจายหาค่าแอบโซลูททั้งสองข้างจะได้

$$\mathfrak{Z}'_{Cga} = \frac{\mathfrak{Z}'_a}{\sqrt{\left\{ R_g^2 (K_1 + K_2)^2 + \left[\omega (K_1 + K_2) L_g - \frac{K_2}{\omega C_{ga}} \right]^2 \right\}}}$$

ในเมื่อ $\mathfrak{Z}'_{Cga}$ และ $\mathfrak{Z}_a$ แสดงค่าสูงสุด

พฤติภาพสำหรับการกลอกโดยไม่เสื่อมทรุดนั้นกำหนดให้ไว้ในสมการ

$$\frac{R_a + R_g + K_2 L_a / C_{ga}}{L_a L_g (K_1 + K_2)} < \frac{1}{(L_a + L_g)\, C_{ga}}$$ ซึ่งอาจเขียน

เป็นรูปใหม่ได้ โดยอาศัยค่าของ

$$\omega^2 = \frac{1}{(L_a + L_g)\, C_{ga}}$$

$$\frac{R_a + R_g}{L_a L_g (K_1 + K_2)} + \frac{K_2 L_a / C_{ga}}{L_a L_g (K_1 + K_2)} = \omega^2$$

$$\frac{R_a + R_g}{\omega L_a} + \frac{K_2}{\omega C_{ga}} = \omega L_g (K_1 + K_2)$$

$$\omega\left(K_1+K_2\right)L_g-\frac{K_2}{\omega C_{ga}}=\frac{R_a+R_a}{\omega L_a}$$

ใช้ค่าของบรรทัดบนนี้แทนลงในสมการอันแสดงค่าของ $\mathfrak{E}'_{Cga}$ จะได้

$$\mathfrak{E}'_{Cga}=\frac{\mathfrak{E}'_a}{\sqrt{\left\{R_g^2\left(K_1+K_2\right)^2+\left(\frac{R_a+R_2}{\omega L_a}\right)^2\right\}}}$$

$$\mathfrak{E}'_{Cga}=\frac{\omega L_a\,\mathfrak{E}'_a}{\sqrt{\left[R_g^2\left(K_1+K_2\right)^2\omega^2L_a^2\left(R_a+R_g\right)^2\right]^2}}$$

$$\mathfrak{E}'_{Cga}=\frac{\omega L_a\mathfrak{E}'_{Cga}}{\left(R_a+R_g\right)}\left[\frac{1}{\sqrt{1+\frac{\omega^2L_a^2\left(K_1+K_2\right)}{\left(\frac{R_a}{R_g}+1\right)^2}}}\right]$$

$$\mathfrak{E}'_{Cga}=\frac{\omega L_a\,\mathfrak{E}'_a}{\left(R_a+R_g\right)}\left[1+\frac{\omega^2L_a^2\left(K+K_2\right)}{\left(\frac{R_a}{R_g}+1\right)^2}\right]^{-\frac{1}{2}}$$

ในสมการข้างบนนี้ สำหรับค่าของ K_1 และ K_2 อย่างปกตินั้นใกล้เคียงกันกับ $\frac{\omega L_a\mathfrak{E}_a}{R_a+R_g}$ และแสดงการอาศัยของกระแสไฟกลอก $\mathfrak{E}_{Cga}$ อันขึ้นอยู่กับกระแสไฟอาโนด $\mathfrak{E}_a$

ดังในเครื่องเยนเนอเรเตอร์แบบก่อน คือกระแสไฟกลอกก็ขึ้นอยู่กับแรงเคลื่อนที่อาโนดเหมือนกัน

เมื่อดูตามรูป ๒๒๓ แล้ว ก็จะแสดงให้เห็นว่า

$$\mathfrak{U}_a=\left(j\omega L_g+R_g+\frac{1}{j\omega C_{ga}}\right)\mathfrak{E}_{C_g}$$

จากสมการนี้ เราได้ค่าของ

$$\mathfrak{Z}'_{Cga} = \frac{\mathfrak{U}'_a}{\sqrt{\left[R_g^2 + \left(\omega L_g - \frac{1}{\omega C_{ga}}\right)\right]^2}}$$

เพราะฉะนั้น เมื่อ $\omega(L_a + L_g) = 1/\omega C_{ga}$ จึงได้

$$\mathfrak{Z}'_{Cga} = \frac{\mathfrak{U}'_a}{\sqrt{R_g^2 + \omega^2 L^2}} = \frac{\mathfrak{U}'_a}{\omega L_a}$$

สำหรับค่าของ ω ที่มีค่าใหญ่

ดังที่กล่าวมาแล้วในหน้า ๔๕๗ ว่ากระแสไฟสูงสุดจะพึงได้รับตามทางใช้การก็ในเมื่อลักษณะที่กระทำการต่อต้านกันสองลักษณะนี้เท่ากัน คือหมายความความว่า เมื่อ

$$\frac{\omega L_a \mathfrak{Z}'_a}{R_a + R_g} = \frac{\mathfrak{U}'_a}{\omega L_a}$$

หรือเมื่อ

$$\frac{L_a^2}{(L_a + L_g)(R_a + R_g)C_{ga}} = \frac{\mathfrak{U}'_a}{\mathfrak{Z}'_a} \text{ ซึ่งเท่ากับ } \frac{1}{K_2} \quad .. \quad .. \quad (217)$$

ส่วนงานภายนอกที่ต้องออกแรงของออสซิเลเตอร์นี้ก็คืออิมพีแดนซ์ของวงจรอาโนดอันมีค่าเท่ากับ $(j\omega L_a + R_a)$ อันต่อขนานเป็นพวงเข้ากับค่าอันดับของรีแอคแตนซ์จากคอนเดนเซอร์ประสานถ่ายกำลังคือ $(1/j\omega C_{ga})$ และอิมพีแดนซ์ในวงจรกริด $(j\omega L_g + R_g)$ คือว่า งานภายนอกที่ต้องออกแรงเท่ากับ

$$\frac{(j\omega L_a + R_a)\left(j\omega L_g + R_g + \frac{1}{j\omega C_{ga}}\right)}{j\omega L_a + j\omega L_g + \frac{1}{j\omega C_{ga}} + R_a + R_g)}$$

ถ้าเอาสมการ (202) ใช้ร่วมกับส่วนหนึ่งในเดขข้างบนนี้ก็คือ $j\omega L_a + j\omega L_g + \frac{1}{j\omega C_{ga}} = O$ และถ้า R_a และ R_g เมื่อเปรียบเทียบกับค่าของ ωL_a และ ωL_g ตามลำดับแล้วอาจตัดออกเสียได้ เมื่อเป็นเช่นนั้นความต้านอิมพีแดนซ์ภายนอก จึงทอนลดลงเป็นฉะเพาะเดขซึกข้างซ้ายของสมการ (217) คือ $\frac{L_a^2}{(L_a + L_g)(R_a + R_g) C_{ga}}$ ฉะนั้นกระแสไฟสูงสุดจึงบังเกิดขึ้นในเมื่ออิมพีแดนซ์ภายนอกเท่ากับ $\frac{1}{K_2}$ ดังในวงจรก่อน คือเท่ากับความต้านทานแก่กระแสไฟสลับภายในหลอด ภายใต้พฤติภาพเหล่านี้เอง ค่าของกระแสไฟจึงเป็น

$$\mathfrak{I}'_{Cga} = \sqrt{\frac{U'_a \cdot I'_a}{R_a + R_g}}$$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$\sqrt{\frac{u'_a \cdot I_{a\,max}}{2(R_a + R_g)}}$$

ในเมื่อหลอดทำงานตรงจุดกึ่งกลางของเส้นโค้งลักษณะ ส่วนรูปของเส้นโค้งลักษณะไดนามิคซ์นั้นก็เป็นรูปอิลิพซ์อีก และอาจหาได้โดยการทำให้ค่าของ t จากสมการ (216) และ (199) หมดไป (คำว่าที่ทำให้ค่าของ t หมดไปนั้น หมายความถึงค่าของ ω นั้นเองคือ $\omega = 2\pi f$; $\frac{1}{2} = \frac{1}{T}$ ด้วยวิธีแทนค่าของ $\mathfrak{I}_{Cga} = \mathfrak{I}'_c \sin\omega t$ ลง และได้

(199) $$u_g = -(j\omega L_g + R_g)\,\mathfrak{I}_{Cga}$$

(31) $$\mathfrak{I}_a = (K_1 + K_2)\,u_g - \frac{K_2\,\mathfrak{I}_{Cga}}{j\omega C_{ga}}$$

$$\mathfrak{V}_a = -K_1 (j\omega L_g + R_g)\, \mathfrak{V}_{Cga}$$

$$- K_2 (j\omega L_g + R_g)\mathfrak{V}_{Cga} - \frac{K_2\, \mathfrak{V}_{Cga}}{j\omega\, C_{ga}}$$

$$\mathfrak{V}_a = -\left[j\omega L_g (K_1 + K_2) + R_g (K_1 + K_2) \frac{K_2}{j\omega\, C_{ga}} \right] \mathfrak{V}_{Cga}$$

และจะได้ค่าแอบโซลูท

$$\left| \mathfrak{V}_a \right| = -\mathfrak{V}_{Cga} \sqrt{ \left\{ R_g^2 (K_1 + K_2)^2 + \left[\omega (K_1 + K_2) L_g - \frac{K_2}{C_{ga}} \right]^2 \right.}$$

ค) ออสซิเลเตอร์ป้อนกำลังกลับด้วยแคแปซิตี้กับอินดัคแตนซ์รวมกัน

ได้แสดงมาแล้วแต่ในตอนข้อ ๕ ค. หน้า ๔๔๑ ว่า วงจรของออสซิเลเตอร์แบบฮาร์ทเลย์นั้น ก็ทำนองเดียวกันกับวงจรที่ได้พิจารณามาแล้ว มีข้อยกเว้นอยู่แต่เพียงว่า $(L_a - M)$ กับ $(L_g - M)$ เป็นค่าที่แสดงผลแห่งอาการอินดัคติฟของ L_a กับ L_g ตามลำดับ โดยเหตุนี้พฤติภาพที่จะทำให้บังเกิดกระแสไฟสูงสุด จึงคงได้จากสมการ (217) คือ

$$\frac{(L_a - M)^2}{(L_a + L_g - 2M)(R_a + R_{ga})\, C_{ga}} = \frac{1}{K_2}$$

ค่าสูงสุดของกระแสไฟกลอก คงเป็นอย่างเดียวกันกับที่บังเกิดขึ้นกับวงจรที่ใช้การประสานถ่ายกำลังด้วยแคแปซิตี้อย่างง่าย ซึ่งเรียกว่า " Simple capacity coupling " ดังในรายที่แล้วมา กระแสไฟสูงสุดจะบังเกิดขึ้นทันทีทันใดในเมื่ออาการประสานถ่ายกำลังอย่างแรง

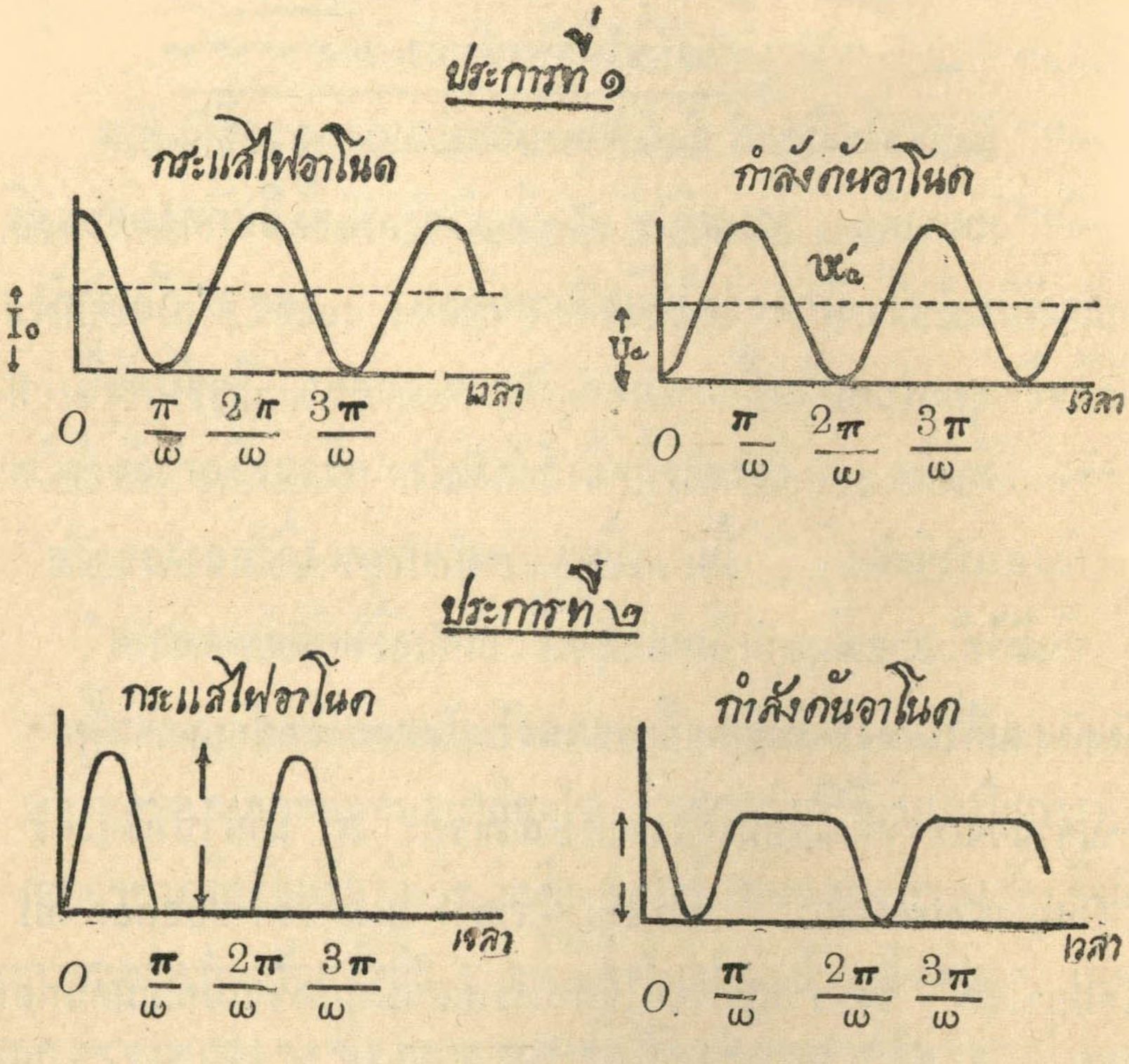
(Critical coupling) ได้ผ่านพ้นไป จากสูตรข้างต้นนั้น แสดงว่า ถ้าความต้านทานของวงจรทวิตย์ อาการประสานถ่ายกำลังให้แก่กัน (Mutual coupling) จักต้องทวิตย์ หรือไม่ก็ค่าของคอนเดนเซอร์ ถ่ายกำลัง (Coupling condenser) จะลดน้อยลง จึงจะดำรงให้ค่าสูงสุดของกระแสไฟบังเกิดมีอยู่ได้

๗) ประสิทธิภาพของออสซิเลเตอร์ที่ใช้หลอด

ประสิทธิภาพของสถานีส่งใด ๆ ก็ตาม ทำการวัดโดยถืออัตราส่วนของกำลังงานที่ส่งแผ่กระจายออก (Radiated energy) ต่อกำลังงานรับบ้อนให้ (Input energy) เป็นเกณฑ์ การนี้ย่อมเกี่ยวข้องถึงความรู้แห่งระเบียบการกระจายกำลังงาน ซึ่งภาษาอังกฤษเรียกว่า (Radiating system) เป็นทิตั้ง ประสิทธิภาพของหลอดออสซิเลเตอร์อย่างเดียวนั้นอาจหาได้โดยรู้จำนวนวัตต์ที่หลอดได้รับ (Input watts) กับจำนวนวัตต์ที่เสียไปนี้ ส่วนใหญ่หมายถึงจำนวนวัตต์ที่เสียไปเป็นความร้อนกระจายออกบนอาโนดของหลอดกับกำลังงานที่พีลาเมนท์หรือคาโทดของหลอดกินหมดเปลืองไป ส่วนกำลังที่เสียไปในการทำให้หลอดของกริดร้อนขึ้นนั้นถือว่าเป็นส่วนเล็กน้อยของความร้อนที่แผ่กระจายออกจากหลอดทั้งสิ้น ฉะนั้นจึงไม่ขอนำเข้ามาคิดด้วย เมื่อหลอดทำงานตรงจุดกึ่งกลางของเส้นโค้งลักษณะแต่ไม่กลอกไปมา บรรดากำลังงานทั้งหลายที่หลอดรับเข้าไปนั้น คงจ่ายเสียไปเป็นความร้อน โดยเหตุนี้เอง เมื่อจำนวนวัตต์ของกำลังไฟที่เผาคาโทดประจำคงที่ อาการจึงเปลี่ยนลักษณะเป็นสีแดงหรือร้อนจัดจนเรียกว่า “ White

hot" ครั้นเมื่ออาการกลอกเริ่มมีขึ้นแล้ว ส่วนใหญ่ของกำลังงานที่หลอดออสซิเลเตอร์รับเข้าไปนั้นปรากฏผลเป็นการแผ่กำลังกระจายออก อาโนดของหลอดก็ปรากฏผลว่า มีอาการเย็นลง ทั้งนี้เป็นด้วยกำลังงานที่หลอดออสซิเลเตอร์รับเข้าไปกระจายออกเป็นความร้อนเป็นเพียงส่วนน้อย ในขณะที่เป็นอยู่เช่นนี้ กำลังงานที่ถูกกินประจำไปโดยการเผาพลาเมนท์หรือคาโทดให้ร้อนไม่ต้องนำเข้ามาคิดด้วย จึงใคร่จะขอนำความสัมพันธ์ในเรื่องกำลังรับและจ่ายของหลอดออสซิเลเตอร์มาแสดงไว้เป็นตัวอย่างคือ สมมติให้ E เป็นกำลังงานทั้งสิ้นที่หลอดออสซิเลเตอร์รับเอาไปในเมื่อหลอดไม่มีอาการกลอก และ E' เป็นกำลังงานทั้งสิ้นที่หลอดรับเอาไปเมื่อหลอดอยู่ในอาการกลอก ในชั้นต้นนี้ อาจแสดงให้เห็นว่า ประการที่หนึ่งสำหรับแรงเคลื่อนหรือกำลังดันไฟฟ้าที่อาโนดประจำคงที่ U_a นั้น เมื่อจุดทำงานอยู่ตรงกึ่งกลางของเส้นโค้งลักษณะได้ $E=2E'$ โดยเหตุนี้เมื่อหลอดเริ่มต้นสำแดงอาการกลอก กำลังงานจึงแผ่กระจายออกเป็นความร้อนโดยอาโนดน้อยกว่า $\frac{E}{2}$ จะเป็นจำนวนเท่าใดนั้นย่อมแล้วแต่เศษส่วนของ E' ผ่านไปยังวงจรจ่าย (Output circuit) ลักษณะที่กำลังงานแผ่กระจายออกลดน้อยลงโดยอาโนด ซึ่งปรากฏว่าอยู่ในอาการเย็นนั้นบังเกิดขึ้นเมื่อเริ่มต้นกลอกตัวไปมาภายใต้พฤติภาพที่กล่าวแล้วนั้น ประการที่สอง ถ้าจุดทำงานอยู่ตรงตำบลที่กระแสไฟอาโนดเป็นศูญในเมื่อยังไม่มีการกลอกบังเกิดขึ้นแล้ว $E=O$ ครั้นเมื่อหลอดได้กลอกตัว ทำให้กระแสไฟผ่านจากอาโนดไปสู่คาโทดฉะเพาะแต่ในเมื่อโปเตนเชียลที่กริดอยู่ในจังหวะของเฟสบวก

การกระจายของกำลังงานเสียไปโดยอาโนดทำให้อาโนดทวีอุณหภูมิ (อาการร้อน) สูงขึ้นเมื่อเวลาบังเกิดมีอาการกลอก ในรายที่กล่าวตามประการที่หนึ่งทั้งกระแสไฟอาโนดและโปเตนเชียลที่อาโนดนั้นอาจแทนได้ด้วยคลื่นรูปเส้นโค้งไซนอย่างใกล้เคียง ส่วนในรายดังกล่าว



รูป ๒๓๑ แสดงความสัมพันธ์ของกระแสไฟอาโนดกับกำลังดันอาโนดด้วยประการต่าง ๆ

ตามประการที่สองนั้น กระแสไฟอาโนดจะไหลไปแต่ฉะเพาะเมื่อแรงเคลื่อนกลอกของกริดเป็นบวก คือฉะเพาะช่วงบวกของแรงเคลื่อนไฟสลับที่กริด เพราะฉะนั้นแรงเคลื่อนของอาโนดจึงคงมีค่าประจำอยู่

ตลอดเวลาของเฟสลบแห่งโปเตนเชียลกริดที่เปลี่ยนแปลงอยู่ คือหมายความว่า แรงดันที่อาโนดคงที่เมื่อแรงดันที่กริดเป็นลบ ลักษณะต่าง ๆ ตามที่กล่าวมาแล้วเหล่านี้ อาจแสดงภาพให้เห็นได้ดังในรูป ๒๓๑

เพื่อความง่ายดายในการพิจารณา จึงขอตัดเอาความต้านทานโอมของวงจรอาโนดออกเสีย ฉะนั้นจึงสามารถเขียนให้กระแสไฟและแรงเคลื่อนมีอาการต่างเฟสกันอยู่เป็นจำนวน 180° พอดี

ครานี้จึงเห็นได้ว่า ประสิทธิภาพของหลอดออสซิเลเตอร์ซึ่งใช้จุดทำงานต่างกันด้วยการแต่งอาการของสองประเภทนี้มีค่าต่างกันเป็นอันมาก ประสิทธิภาพของเยนเนอเรเตอร์นั้นวัดโดยอัตราส่วนของกำลังงานจ่าย E_o ในวงจรกลอกต่อกำลังงานรับ E ที่ป้อนส่งให้แก่อาโนดของหลอดเมื่อหลอดกำลังกลอกตัวอยู่

เมื่อไม่มีอาการกลอก $E = U_a \cdot I_a$ ในลักษณะที่จุดทำงานอยู่ตรงจุดกึ่งกลางของเส้นโค้งลักษณะ ฉะนั้น สำหรับพฤติภาพอันจำกัดไว้โดยแน่แท้เหล่านี้ $E = \frac{1}{2} U_a \cdot I_{a\,max}$ เมื่อ U_a เป็นแรงเคลื่อนที่อาโนด $I_{a\,max}$ เป็นกระแสไฟอาโนดที่อิ่มตัว

ค่าของ E' นั้นกำหนดได้โดย

$$\frac{1}{T}\int_o^T (U_a + u_a)(I_a + \mathfrak{F}_a)\, dt$$

เมื่อ T เป็นระยะเวลาบรรจบ $\frac{2\pi}{\omega}$ ของการกลอกไปมาและ t เป็นเวลา ส่วนเครื่องหมายอื่น ๆ นั้นมีความหมายตามเดิมที่กำหนดมาแล้วจากข้างต้น

โดยใช้ค่าของ u_a และ $\Im_a$ ที่กำหนดไว้ในหน้า ๔๑๑ และ ๔๑๔ คือ

$$u_a = u'_a \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2} - \theta\right)$$

$$\Im_a = \Im'_a \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2} + \beta\right)$$

จึงได้

$$E' = \frac{\omega}{2\pi} \int_0^{\frac{2\pi}{\omega}} \left[U_a + u'_a \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2} - \theta\right) \right]$$

$$\left[I_a + \Im'_a \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2} + \beta\right) \right] dt$$

ดังที่ปรากฏมาแล้วในรูป ๒๓๑ ว่ามุมเฟสอันเนื่องจากความต้านทานโอมนั้นมีค่าน้อย จึงตัดออกเสียได้ คือใส่ค่าของมุม θ และ β เท่ากับศูนย์ จึงหาได้โดยการอินทิเกรทเป็น

$$E' = \frac{\omega}{2\pi} \int_0^{\frac{2\pi}{\omega}} \left[U_a \cdot I_a + I_a \cdot u'_a \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) \right.$$

$$+ U_a \cdot \Im'_a \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) + u'_a \Im'_a \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

$$\left. \sin\left(t + \frac{\pi}{2}\right) \right] dt$$

$$E' = \frac{\omega}{2\pi} \int_0^{\frac{2\pi}{\omega}} \left[I_a U_a - I_a u'_a \cos\omega t + U_a \Im'_a \cos\omega t \right.$$

$$\left. - \Im'_a u'_a \cos^2\omega t \right] dt$$

$$E' = \frac{\omega}{2\pi} \int_0^{\frac{2\pi}{\omega}} \left[I_a U_a - I_a u'_a \cos\omega t + U_a \Im'_a \cos\omega t - \frac{\Im_a u_a - \Im_a u_a \sin 2\omega t}{2} \right] dt .$$

$$E' = \frac{\omega}{2\pi} \int_0^{\frac{2\pi}{\omega}} \left[I_a U_a - I_a u'_a \cos\omega t + U_a \Im'_a \cos\omega t - \frac{\Im'_a u'_a}{2} + \tfrac{1}{2} \sin(2\omega t) \right] dt$$

$$E' = I_a U_a - \frac{\Im'_a u'_a}{2} = E - \frac{\Im'_a \cdot u'_a}{2} \quad .. \quad .. \quad (218)$$

จากสมการข้างบนนี้เราเห็นได้ว่า กำลังงานรับเข้าไปป้อนให้แก่หลอดระหว่างกำลังอยู่ในอาการกลอกนั้น เท่ากับกำลังงานที่จ่ายส่งออกไปอันสม่ำเสมอลบด้วยจำนวนของกำลังงาน $\Im' \cdot u'_a$

จากไดอาแกรมประการหนึ่งของรูป ๒๓๑ เห็นได้ว่า $\Im'_a = \Im_a = \frac{I_{a\,max}}{2}$ อันเป็นเหตุผลที่มองเห็นได้ในเมื่อหลอดทำงานตรงจุดกึ่งกลางของเส้นโค้งลักษณะ นอกจากนั้น โดยที่งานซึ่งต้องออกแรงภายนอกเท่ากันกับอิมพีแดนซ์ภายในและแรงเคลื่อนที่อาโนดจะตกต่ำลงจาก $2U'_a$ ลงมาเป็นศูญในเมื่อกระแสไฟอาโนดเพิ่มขึ้นจาก O ไปถึง $2\,\Im'_a$ $(=I_{max})$ โดยเหตุนี้ $u'_a = U_a$ และตามสมการ (218) นั้นคือ

$$E' = U_a I_a - \frac{u_a z_a}{2} = E - \frac{U_a \cdot I_a}{2} = E - \frac{E}{2}$$

$$= \frac{E}{2} = \frac{z_a' \cdot u_a'}{2}$$

เพราะฉะนั้นจึงอาจสรุปความจากการเท่ากันของอิมพีแดนซ์ภายนอกกับอิมพีแดนซ์ภายในได้ว่า กำลังงาน E_o ซึ่งเสียไปในการออกแรงงานภายนอกจะเท่ากับกำลังงานที่เสียไปบนหลอด คือกำลังงานรับทั้งหมด E_o เท่ากันกับผลบวกของกำลังงานสองกำลัง แต่โดยที่กำลังงาน E_o ในวงจรภาคจ่าย (Output circuit) คือเป็นกำลังงานที่ใช้สำหรับให้แผ่กระจายออกไป ฉะนั้นจำนวนเปอร์เซนต์ในประสิทธิภาพของหลอดจึงเป็น $\frac{100\, E_o}{E'}$ ซึ่งจากลักษณะที่กล่าวข้างต้นนี้มีค่าเท่ากับ ๕๐ เปอร์เซนต์ ครั้นเมื่อหลอดกำลังกดอกไปมาอยู่ กำลังงานทางรับเท่ากับ $\frac{E}{2}$ และกำลังงานทางจ่ายเท่ากับ $\frac{E'}{2}$ หรือ $\frac{E}{4}$ หรือจะกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือว่าเมื่อหลอดกำลังกดอกอยู่นั้น กำลังงานเสียไปในลักษณะอันสม่ำเสมอเป็นความร้อนบนอาโนดเพียงหนึ่งในสี่ของ E เท่านั้น เพราะฉะนั้นจึงเห็นได้ว่า จำนวนนี้เป็นเครื่องวัดอันแน่นอนของความร้อนเปลี่ยนแปลงที่อาโนดเมื่อเริ่มต้นกดอกภายใต้พฤติภาพอันจำกัดที่กล่าวแล้ว

จากตอนก่อนและจากผลของการพิจารณาปัญหาข้างต้น ทำให้เรามองเห็นได้ว่า เมื่อหลอดออสซิเลเตอร์ถูกแต่งให้ทำงานตรงจุด

กึ่งกลางของเส้นโค้งลักษณะจะได้กำลังจ่ายสูงสุด แต่ในส่วนประสิทธิภาพมีต่ำ

ในส่วนประการที่สอง คือแรงเคลื่อนที่กริดถูกแต่งให้จนกระทั่งกำลังงาน $E = 0$ ซึ่งไม่มีกระแสอาโนดไหลเลยในเมื่อหลอดยังไม่อยู่ในอาการกลอก ภายใต้พฤติภาพเช่นนี้กำลังจ่าย (Output) ทั้งหมดจะมีน้อย แต่ประสิทธิภาพทวีขึ้นเป็นอันมาก ทั้งนี้เป็นด้วยการเสียกำลังไปเป็นความร้อนบนอาโนดนั้นบังเกิดขึ้นแต่เพียงในทุก ๆ ครึ่งไซเกิลฉะนั้นเมื่อ $E = U_a \cdot I_a = 0$ แล้ว กำลังงานรับที่ป้อนส่งมาจากต้นกำลังไฟ (Power supply) ไปให้แก่อาโนดจึงกำหนดได้โดย

$$E' = \frac{\omega}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{\omega}} u'_a I_{a\,max} \sin \omega t \, dt$$

$$E' = \frac{\omega}{\pi} \left[u'_a I_{amax} \frac{\cos \omega t}{\omega} \right]_0^{\frac{\pi}{\omega}} = \frac{I_{a\,max}\, u_a}{\pi}$$

เมื่อแอมปลิจูดของกระแสไฟกลอกเปลี่ยนไประหว่าง O กับ $I_{a\,max}$ ในอาการทำงานครึ่งไซเกิล คือจาก O ถึง $\frac{\pi}{\omega}$ อาการเปลี่ยนแปลงค่าของกระแสไฟนี้กำหนดให้เป็นรูปเส้นโค้งไซนุ (Sinusoidal)

การเสียกำลังงานไปในวงจรกลอกนั้นกำหนดได้โดยสมการ

$$E_o = - \frac{\omega}{2\pi} \int_0^{\frac{\pi}{\omega}} (I_{a\,max} \sin \omega t) \; (- u'_a \sin \omega t) \, dt .$$

เครื่องหมายลบอันแรกแสดงกำลังงานจ่าย ส่วนเครื่องหมายลบอันที่สอง แสดงความสัมพันธของเฟส ฉะนั้นจึงได้

$$E_o = -\frac{\omega}{2\pi}\int_0^{\frac{\pi}{\omega}} -I_{a\,max}\, u_a' \sin^2 \omega t\, dt$$

$$= \frac{\omega}{2}\int_0^{\frac{\pi}{\omega}} I_{a\,max}\, u_a' (1-\cos \omega t)$$

$$E_o' = \frac{\omega}{2\pi}\cdot I_{a\,max}\, u_a' \cdot \frac{1}{2\omega}\left[{}^{\circ}1-\cos 2\omega t\right]_0^{\frac{\pi}{\omega}}$$

$$E_o = \frac{1}{4} I_{a\,max}\, u_a'$$

สำหรับพฤติภาพที่ทำงานเช่นอันนี้ คงได้ประสิทธิภาพเป็น

$$\frac{100\, E_o}{E'} = 100 \cdot \frac{I_{a\,max}\cdot u_a'}{4} \cdot \frac{\pi}{I_{a\,max}\, u_a'}, \% = 78{,}5\,\%$$

ประสิทธิภาพของหลอดออสซิเลเตอรนี้ไม่เพียงแต่ขึ้นอยู่กับจุดทำงานบนเส้นโค้งลักษณะเท่านั้น แต่ยังขึ้นอยู่กับรูปร่างของคลื่นด้วย ดังอุทาหรณ์ ถ้าเส้นโค้งไซนของตัวอย่างหลังที่สุดแปลงรูปกลายเป็นคลื่นยอดสี่เหลี่ยม จึงอาจแสดงให้เห็นได้ว่าประสิทธิภาพตกลงมาเป็น $\frac{200}{\pi}$ เปอร์เซนต์หรือ 63,6 เปอร์เซนต์ อาการเช่นนี้จะบังเกิดขึ้น ถ้าแรงดันที่กริดในซีกข้างบวกมีค่าสูงมากพอเพียงทำให้จุดทำงานเดินไปตามตอนที่กระแสไฟอิ่มตัวของเส้นโค้งลักษณะ ฉะนั้นสำหรับแอมปลิจูด

ของแรงดันที่กริดใหญ่มากแล้ว ประสิทธิภาพอาจตกต่ำลงกว่าค่าอัน
ควรจะเป็น 78,5 นั้นได้ อาการเช่นนี้อาจปรากฏขึ้นในเมื่อค่าเฉลี่ย
ปานกลางของโปเตนเชียลกริดจะอยู่ในลักษณะที่กระแสไฟอาโนดเป็นศูนย์
สำหรับในช่วงแห่งแรงดันกลอกที่กริด

ในหลอดออสซิเลเตอร์ส่วนมาก ย่อมจะมีประสิทธิภาพตามปกติ
ประมาณ 65 เปอร์เซนต์ถึง 70 เปอร์เซนต์ ตามทางใช้การนั้น
ประสิทธิภาพของออสซิเลเตอร์ที่ใช้หลอด อาจหาได้โดยการวัดจำนวน
วัตต์ที่เสียไปบนอาโนด ($E' - E_0$) และจำนวนวัตต์รับทั้งหมด (E')
จำนวนวัตต์อันแรกหาได้โดยวัดอ่านผล อุณหภูมิของอาโนดที่ร้อนแดง
ดูกเป็นแสงจากกล้องวัดอาการร้อน ที่เรียกตามภาษาอังกฤษว่า
" Optical Pyrometer " หรือโดยใช้เธอโมมิเตอร์วางไว้ข้างอาโนด
ให้ใกล้ที่สุดที่จะใกล้ได้ จำนวนที่วัดมาได้จากไปโรมิเตอร์หรือเธอโม
มิเตอร์ครั้งหนึ่ง ๆ นั้น จะแสดงจำนวนกำลังงานตามปกติที่เสียไปบน
อาโนด เครื่องวัดอุณหภูมิที่ว่านี้เพื่อความสะดวกในการใช้ จึงอาจทำ
การสอบเทียบให้อ่านได้เป็นจำนวนวัตต์เสียที่เดียว การนี้ย่อมทำได้โดย
เผาอาโนดให้ร้อนขึ้นโดยกระแสไฟตรงที่รู้จำนวน แล้วทำเส้นกราฟเป็น
เครื่องแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณภูมิกับจำนวนวัตต์ที่เสียไป เพื่อ
สำหรับเปรียบเทียบกับผลที่วัดได้จากเครื่องวัด แล้วแปลงผลอ่านออกมา
เป็นจำนวนวัตต์ได้ จำนวนวัตต์ที่ใช้เผาคาโทดและความไหลของกระแส
ไฟกริดในเมื่อแรงเคลื่อนกริดเป็นบวกนั้น อาจทำให้ประสิทธิภาพที่วัดได้

มีค่าต่ำลงกว่าค่าที่คำนวณได้เป็นอันมาก การเสียกำลังงานไปเนื่องจากกระแสไฟกริดนี้อาจทำให้น้อยลงได้อีกโดยการใช้แรงเคลื่อนที่อาโนดให้สูงมากพอตามส่วนกับแรงเคลื่อนกริดที่เป็นลบมากขึ้น หากว่าจะได้ปฏิบัติการแก้ไขอย่างกล่าวแล้วก็ตาม แต่การเสียกำลังไปอันเนื่องจากกระแสไฟกลอกในวงจรกริดนั้นมิอาจหลีกเลี่ยงให้พ้นได้โดยสมบูรณ์ทีเดียว ยังจำเป็นต้องใช้ความระมัดระวังในการออกแบบวงจรกริดของหลอดออสซิเลเตอร์กำลังสูง ๆ นั้นอีกด้วย

ประสิทธิภาพของออสซิเลเตอร์ที่ใช้หลอดนี้ ยังต้องพิจารณาถึงธรรมชาติของการจัดส่งกำลังไฟสูง (High tension) และกำลังไฟต่ำ (Low tension) ไปให้แก่อาโนดและพีลาเมนท์ของหลอดตามลำดับกับส่วนเสียกำลังตามส่วนต่าง ๆ นั้นด้วย ประสิทธิภาพของสายอากาศก็จักต้องคิดรวมเข้าด้วยเช่นเดียวกัน ปัญหาในเรื่องนี้ได้กล่าวไว้ในตอนว่าด้วยสายอากาศ ส่วนปัญหาในเรื่องการจัดส่งแรงเคลื่อนหรือกำลังดันไฟกำลังต่ำและสูงนั้น จักได้นำมากล่าวในตอนหลัง

๘) แนวพิจารณาการใช้หลอดออสซิเลเตอร์ทางใช้การ

การใช้ออสซิเลเตอร์ชะนิดใช้หลอดให้ถูกวิธีอันนับว่าดีนั้น จำเป็นต้องอาศัยหลักทางทฤษฎีดังกล่าวมาแล้วเป็นเครื่องยึดเหนี่ยว ส่วนความแตกต่างฉะเพาะระหว่างเครื่องส่งที่ใช้หลอด (Valve transmitter) กับออสซิเลเตอร์มีอย่างไรนั้นก็ได้พิจารณามาแต่ในตอนแรกของบทนี้อันมีรายละเอียดหลายอย่างซึ่งทำให้ออสซิเลเตอร์สามารถแผ่กระจาย

กำลังงานในรูปที่เหมาะ สำหรับส่งออกไปทำการสื่อสารหรือสำหรับความประสงค์สิ่งอื่นที่เจาะจงไว้

ก) การแต่งรีแอคชั่น ความสำคัญสิ่งแรกที่จักต้องคิดนั้นคือว่าวงจรจักต้องทำให้เกิดการกลอก ส่วนเรื่องที่จะใช้วิธีใดนั้น ตามปกติย่อมแล้วแต่ชะนิดของวงจร

ในวงจรแบบป้อนกำลังกลับด้วยการถ่ายกำลังอินดัคติฟซึ่งเรียกว่า " Mutual inductive reaction " นั้น มีความสำคัญอยู่ว่า ปลายสายของขดลวดรีแอคชั่นจักต้องต่อให้อยู่ในสภาพที่ M เป็นลบ เมื่อได้ต่อไฟเข้าวงจรแล้วแต่ไม่บังเกิดอาการกลอก สิ่งแรกที่จะต้องปฏิบัตินั้นคือสลับสายที่ต่อขดลวดรีแอคชั่นเสีย เพราะเหตุว่าถ้าวงจรไม่กลอกตัวก็หมายความว่า ขดลวดรีแอคชั่นนั้นต่ออยู่ในสภาพที่ M เป็นบวก แต่เมื่อสลับสายต่อขดลวดรีแอคชั่นแล้ว เครื่องก็ยังไม่กลอกตัว ก็จำเป็นต้องทำให้การประสานถ่ายกำลังชิดกันมากขึ้นตามลำดับ สำหรับกระแสไฟกลอกที่มีค่าสูงสุดนั้น ค่าดีที่สุดของ M จะใหญ่กว่าค่าของ M เมื่อเริ่มต้นมีอาการกลอกเพียงเล็กน้อย ดังที่กล่าวมาแล้วแต่ตอนต้น เมื่อทำให้อาการประสานถ่ายกำลังห่างออก ปรากฏว่าค่าของ M ซึ่งทำให้การกลอกหยุดลงนั้นน้อยกว่าค่าของ M สำหรับเมื่อเริ่มต้นกลอก อาการจากความล้าหลัง (lag) หรืออาการ Hysteresis นี้ไม่อาจจะมองเห็นได้จากการแสดงทางเลขอย่างง่ายที่แล้วมา โดยใช้สมการดีกรีที่ห้าแห่งเส้นลักษณะของหลอด ตามหลักของ Appleton และ Van der Pol จึงจะได้รับคำอธิบายอย่างแจ่มแจ้ง ในการแต่งขดลวด

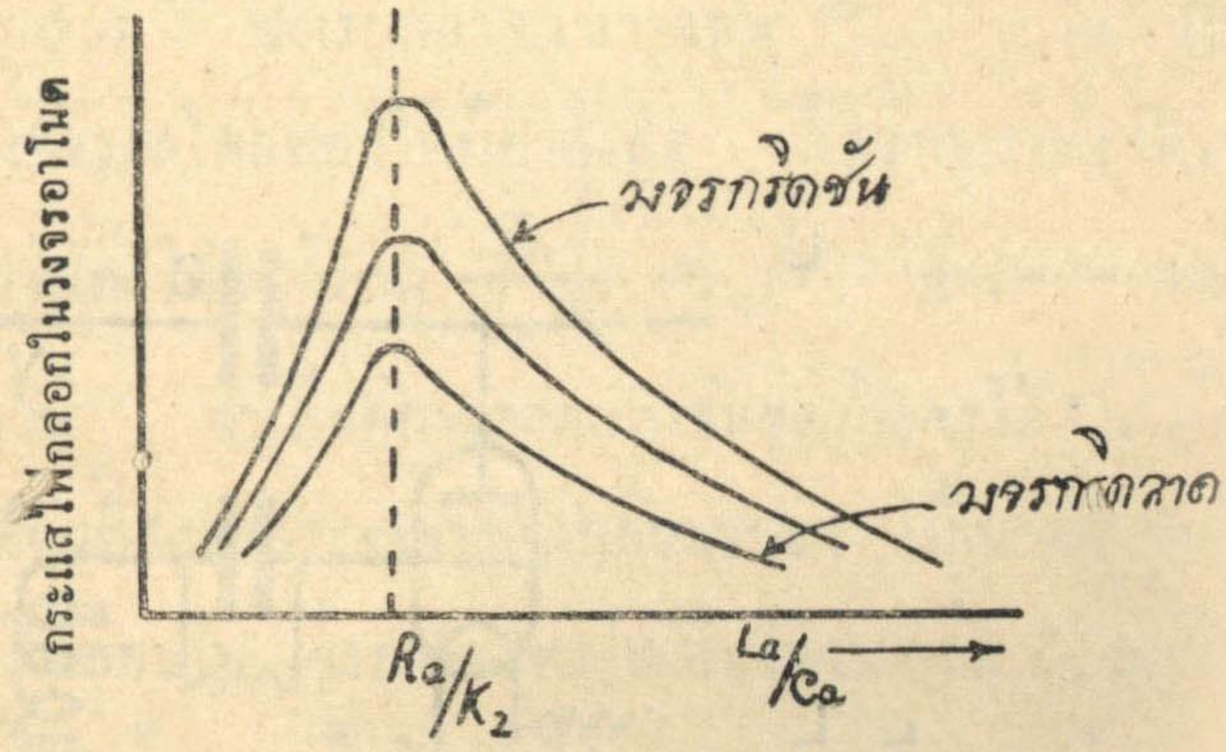
รีแอคชันนี้จึงควรจำไว้ว่า ถ้าขดลวดประสานถ่ายกำลังให้แก่กันถูกปล่อยให้สัมผัสกันได้เมื่อใด ย่อมจะเกิดการดัดวงจรขึ้นที่ต้นกำลังไฟสูง ถ้าวงจรนั้นประสงค์สำหรับใช้กับคลื่นขนาดต่าง ๆ แล้ว การประสานถ่ายกำลังด้วยขดลวดรีแอคชันจะต้องทำให้เปลี่ยนแปลงได้ ทั้งนี้เพื่อดำรงให้กระแสไฟสูงสุดมีอยู่ในเมื่ออัตราส่วน L/C ของวงจรถอกได้เปลี่ยนแปลงไป สำหรับในวงจรแบบฮาร์ทเลย์ที่ต้องมีที่แยกสาย (Variable tap) ให้แต่งขนาดของอินดัคแตนซ์บนวงจรถอกได้นั้นก็เพื่อประสงค์จะดำรงให้มีกระแสไฟสูงสุดคงอยู่ได้ในเมื่อค่าของ C_{ga} อันเป็นคอนเดนเซอร์ของวงจรถอกได้เปลี่ยนแปลงไปจากสูตรในสมการ (192) นั้น ค่าของ L_a จักต้องลดน้อยลงในเมื่อ C_{ga} เพิ่มมากขึ้น โดยเหตุนี้สำหรับคลื่นขนาดยาวมากขึ้นจึงต้องเลื่อนที่จุดแยกสายบนอินดัคแตนซ์ไปในทางซึ่งอัตราส่วนของ L_a/L_g ลดน้อยลง

ข) การเปลี่ยนขนาดยาวของคลื่นและลักษณะกระแสไฟสูงสุด

ในออสซิเลเตอร์ที่ใช้หลอดส่วนมาก . ได้มีเครื่องทำไว้สำหรับให้แต่งฟรีเควนซี่ได้ โดยเปลี่ยนขนาด ขององค์ประกอบในวงจรองค์ใดองค์หนึ่ง อัตราส่วนของอินดัคแตนซ์ ต่อแคแปซิตี้ ซึ่งเป็นส่วนที่ค่าของกระแสไฟถอกขึ้นอยู่ด้วยนั้นได้ถูกทำให้เปลี่ยนแปลงค่าไป อาการอันนี้อาจทำการชดเชยแก้ให้หายได้โดยมีการเปลี่ยนแปลงในส่วนประสานถ่ายกำลัง แต่เท่าที่เป็นอยู่บ่อย ๆ อาการเปลี่ยนแปลงในส่วนนี้ทำให้ขนาดยาวของคลื่นเปลี่ยนไปอีกด้วย เพราะฉะนั้นในทางที่ดีแล้ว เมื่อ

เปลี่ยนขนาดยาวกลืน จึงต้องเปลี่ยนทั้งขนาดของอินดัคแตนซ์ และขนาดของแคแปซิตี้ไป ในอาการที่อัตราส่วน ขององค์ประกอบวงจรทั้งสองสิ่งนี้มีค่าประจำ ตามผลคูณที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง

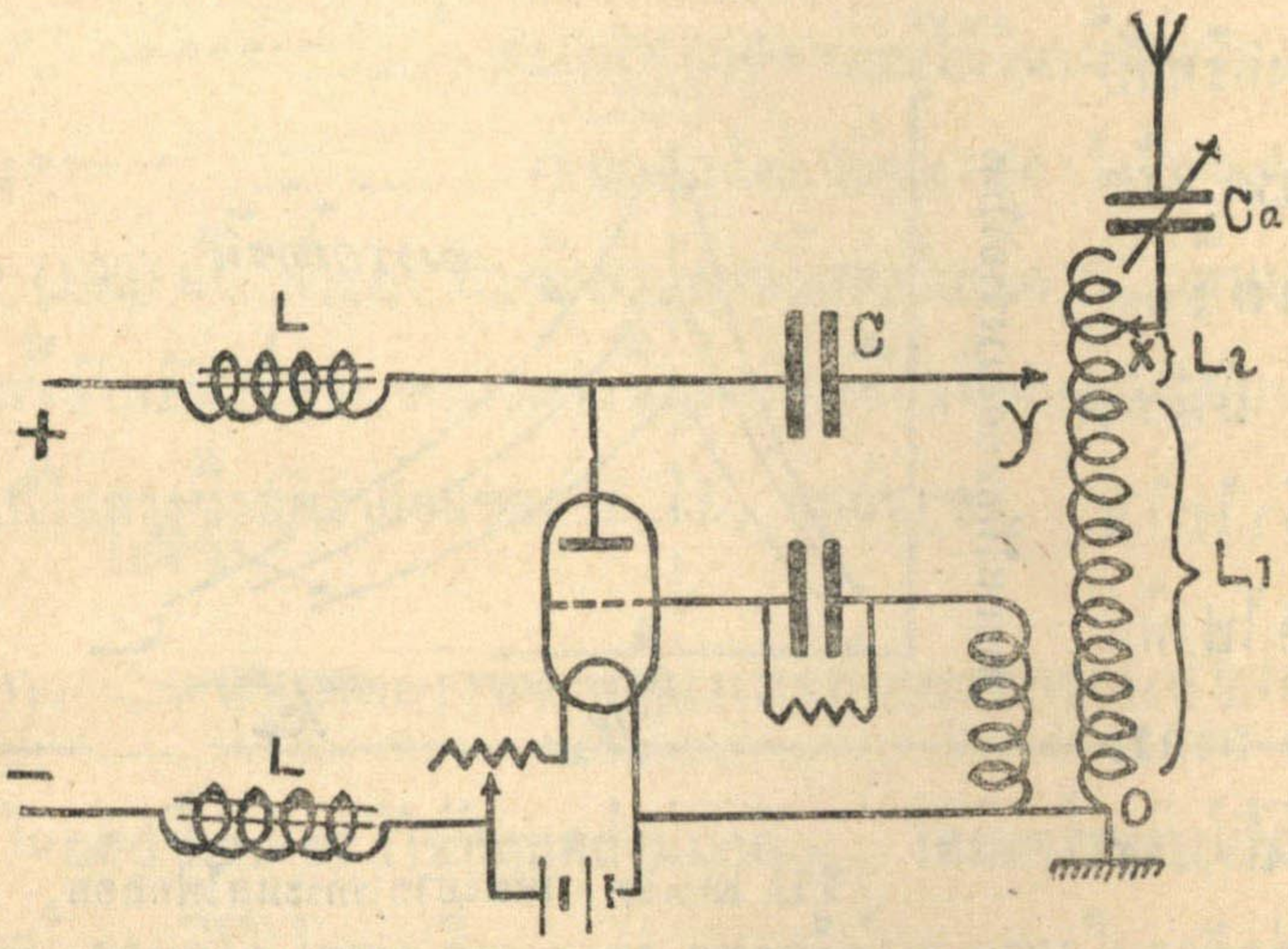
เมื่อมีกระแสไฟกลอกที่กริด ค่าสูงสุดของกระแสไฟกลอกอาโนดทวีขึ้นตามส่วนกับความชัน (Stiffness) ของวงจรกริด อาการอันนี้แสดงด้วยเส้นโค้งรูป ๒๓๒ จากการพิจารณาในแง่นี้มองเห็นได้ว่า การที่ใช้แคแปซิตี้ ต่อคร่อมเข้าที่ขดลวดริแอคชันกริด เพิ่มขึ้นจากแคแปซิตี้ระหว่างกริดกับพีลาเมนทุหรือคาโทดของหลอด มิได้ทำให้มีกำไรในกระแสไฟเพิ่มขึ้นเลย ถึงกระนั้นก็ดี ถ้าวงจรกริดไม่เข้าจูนแล้ว ความลำบากก็ย่อมมีขึ้น ด้วยเหตุเนื่องจากการบังเกิดอาการของ Ziehen ขึ้นอาการของซีเฮนนี้มีอย่างไร ขอรอเอาไว้กล่าวในข้อ (ค) เพื่อจะกำจัดอาการอันนี้ จึงอาจใช้ขดลวดริแอคชันที่เป็นชะนิดแต่ง ค่าอินดัคแตนซ์ได้ แต่ก็ยังหาสะดวกที่เดียวไม่ เพราะได้นำความลำบากอย่างอื่น



รูป ๒๓๒ แสดงอาการกระแสไฟกลอกในวงจรอาโนดสัมพันธ์กับความต้าน

มาให้อีกด้วยเหมือนกัน คือ การเปลี่ยนแปลงขนาดของขดลวดรีแอคชั่น จะทำให้ ค่าแห่งการ ประสาน ถ่าย กำลัง ให้แก่ กัน (Mutual conpling) เปลี่ยนแปลงไปด้วย ฉะนั้น ในการที่จะหลีกความยากลำบากอันนี้ให้พ้น จึงต้องต่อแคแปซิตี้ขนาดเล็กคร่อมเข้าที่ขดลวดรีแอคชั่น โดยถือเอาข้อสันนิษฐานตามเส้นโค้งในรูป ๒๓๒ เป็นหลักตัดสิน

นอกจากเครื่อง สำหรับแต่ง ขนาดยาว ของคลื่นให้ เปลี่ยนได้ แล้ว ออสซิเลเตอร์ยังจักต้องออกแบบ ให้สามารถแผ่กระจายกำลังงานออกไป



รูป ๒๓๓ แสดงวงจรของหลอดออสซิเลเตอร์ที่ต่อถ่ายกำลังออก ให้แก่วงจรสายอากาศโดยตรง

มากที่สุดที่จะมากได้อีกด้วย การนี้ยาจทำได้ ในทางใดทางหนึ่งของสองทางที่กล่าวนี้คือ การใช้วงจรกลอกที่ต่อเป็นวงจรสายอากาศเสียเองทางหนึ่ง หรือเอาวงจรกลอกไปประสานถ่ายกำลังเข้ากับวงจรสายอากาศอีกทางหนึ่ง

ในทางแรก แคแปซิตีที่กระจายอยู่ตามสายอากาศ รวมเข้ากับแคแปซิตีอันเปลี่ยนขนาดได้ ที่ต่อเป็นอันดับหรือเป็นพวงร่วมอยู่ ทำหน้าที่เป็นคอนเดนเซอร์ (C_a) ในวงจรกลอกที่อาโนด ส่วนอินดัคแตนซ์ที่กระจายอยู่ตามสายอากาศ ร่วมเข้ากับอินดัคแตนซ์ที่แต่งขนาดได้ เป็นอินดัคแตนซ์ของวงจรกลอกที่อาโนด อินดัคแตนซ์อันหลังนี้จะต้องมีที่แยกสายสองแห่ง คือที่ X กับ Y (รูป ๒๓๓)

ความมุ่งหมายในการมีที่แยกสาย X ก็เพื่อให้แต่งขนาดยาวของคลื่น ส่วนที่แยกสาย Y ซึ่งเรียกว่าอาโนดแทพ "Anode Tap" นั้นมีไว้สำหรับแต่งกระแสไฟกลอกให้มีค่าสูงสุด คือว่าการแต่งอัตราส่วน $\frac{L_2}{L_1}$ นั้นสามารถแต่งให้พฤติภาพ $\frac{L_a}{C_a R_a} = \frac{1}{K}$ เข้าสู่ความสำเร็จได้ พฤติภาพที่กล่าวนี้ จำเป็นต้องแต่งความชันของวงจรได้ โดยมิทำให้ขนาดยาวของคลื่นที่ส่งแผ่กระจายออกเปลี่ยนแปลง เมื่อเปลี่ยนตำแหน่งที่แยกสาย Y ให้เลื่อนไป จึงอาจแสดงให้เห็นได้ว่า ครั้น L_1 ลดน้อยลง L_2 จะทวีมากขึ้น วงจรนั้นทำหน้าที่อยู่ในอาการที่ว่า ถ้าอินดัคแตนซ์ทั้งหมดของวงจรลดน้อยลงและแคแปซิตีเพิ่มมากขึ้น หากว่าค่าจริงขององค์ประกอบแต่ละองค์จะคงอยู่ไม่เปลี่ยนแปลงก็ตาม ฉะนั้นความชันของวงจรจะลดน้อยลงโดยมิทำให้ขนาดยาวของคลื่นซึ่งหาได้จากผลคูณอันประจำ $(L_1 + L_2) C_a$ นั้นเปลี่ยนแปลงแต่อย่างใด

ส่วนอิมพีแดนซ์ OY ผ่านวงจรสายอากาศกับดินนั้นประกอบขึ้นด้วยอินดัคแตนซ์ L_2 ต่อเป็นอันดับอยู่กับ คอนเดนเซอร์ C_a ซึ่งคอน

เดนเซอร์ C_a นี้รวมเข้ากับแคแปซิตีในตัวของสายอากาศ ฉะนั้น อิมพีแดนซ์ OY จึงมีค่าเท่ากับ

$$j\omega L_2 + \frac{1}{j\omega C_a} = \frac{1}{j\omega C_a}\left(1 - \omega^2 L_2 C_a\right) = Z_{oy}$$

โดยเหตุที่ $\omega^2 = \frac{1}{(L_1 + L_2) C_a}$ เมื่อแทนค่าจากสมการนี้ลง จึงได้

$$Z_{oy} = \frac{1}{j\omega C_a}\left(1 - \frac{L_2}{L_1 + L_2}\right) = \frac{1}{j\omega C_a\left(1 + \frac{L_2}{L_1}\right)}$$

โดยที่ L_2 กับ C_a อันต่อกันเป็นอันดับอยู่นี้ ทำหน้าที่เป็นคอนเดนเซอร์ที่มีค่า $C_a\left(1 + \frac{L_2}{L_1}\right)$ ซึ่งค่าของเทอมที่กล่าวนี้ทวีมากขึ้น ในเมื่อ L_2 ทวีขึ้นกับ L_1 ลดน้อยลง โดยวิธีนี้เองอาโนดแทพ Y จึงแต่งความชันอันสำแดงผล (คือว่า ค่าสำแดงผลของ L_a/C_a) โดยไม่เปลี่ยนแปลงผลคูณ $L_a C_a$ แต่อย่างใด

ในวงจรรูป ๒๓๓ คอนเดนเซอร์ C ทำหน้าที่เป็นทางผ่าน (By-pass) อันมีความต้านอิมพีแดนซ์ต่อกระแสไฟฟ้าฟรีเควนซี่สูงอยู่เป็นจำนวนต่ำ และยังทำหน้าที่เป็นเครื่องป้องกันอาการดัดวงจร ของไฟกำลังสูงมิให้ผ่านทางอินดัคแตนซ์ไปยังดินได้ เพราะฉะนั้น จึงจำเป็นต้องใช้คอนเดนเซอร์ตัวนี้ให้มีค่าใหญ่ (ตามธรรมดาควรใช้ขนาดหนึ่งหรือสองไมโครฟาราด) ขดลวดโช๊คแกนเหล็ก L นี้ เป็นขดลวดที่ยอมให้กำลังไฟตรงเดินผ่านไปบ้อนให้แก่อาโนดของหลอด แต่ทำหน้าที่

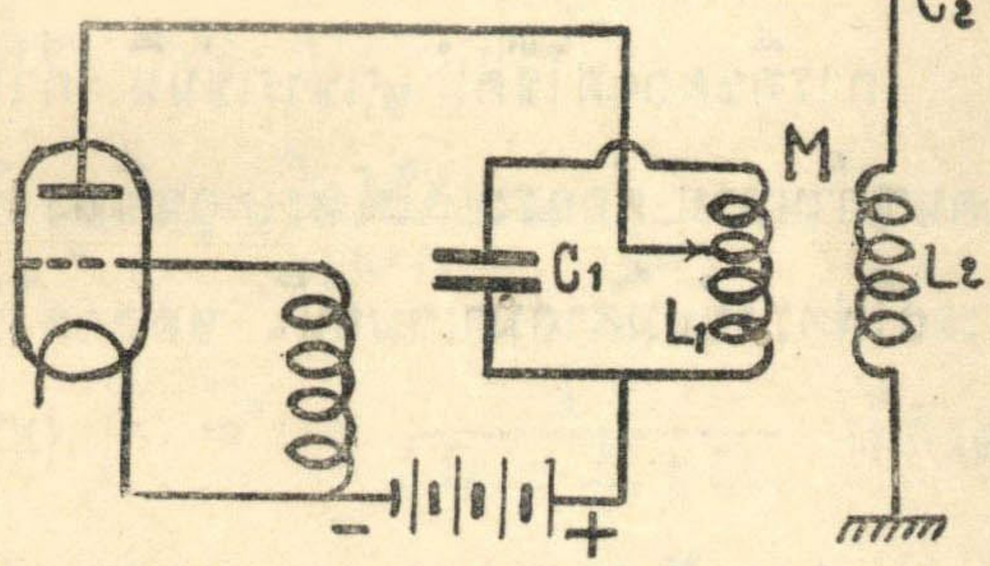
ผลักต้านกระแสไฟกลอก และป้องกันมิให้กระแสไฟกลอก ฟรีเควนซี่สูงนั้น ผ่านไปยังต้นกำลังไฟสูงได้ การที่ขดลวดโช๊คทำอาการเช่นนี้ ก็โดยเหตุที่ขดลวดโช๊ค มีรีแอคแตนซ์ต้านทาน ต่อกระแสไฟ ฟรีเควนซี่สูง เป็นจำนวนมาก แต่สำหรับกระแสไฟตรงอันมีค่าสม่ำเสมอนั้น ขดลวดโช๊คไม่มีรีแอคแตนซ์ต้านทานเลย

ค) <u>ออสซิเลเตอร์ที่ประสานถ่ายเข้ากับวงจรกระจายกำลัง</u>

<u>(Ziehen)</u>

โดยที่ ความชัน (Stiffness) ของออสซิเลเตอร์ที่ใช้หลอดขึ้นอยู่กับพฤติภาพ สำหรับดำรงให้เกิดกระแสไฟกลอกสูงสุด ความคม (Selectivity) ของออสซิเลเตอร ดังที่กล่าวในรูป ๒๓ นั้น ไม่อาจเปลี่ยนแปลงได้โดยปราศจากอันตราย แห่งการลดทอนกำลังจ่ายออกให้น้อยลง ด้วยเหตุผลเช่นนี้ จึงเกิดความต้องการที่นำเอาออสซิเลเตอร์ไปประสานถ่ายให้แก่วงจรกระจายกำลังอันเป็นอิสระ ซึ่งสามารถแต่งความชันของวงจรให้เปลี่ยนแปลงได้ ข้อดีของวิธีที่กล่าวนี้ ตกอยู่ในผลแห่งความจริงที่ว่าฮาร์โมนิคซ์ของฟรีเควนซีพื้น (Fundamental frequency) ปรากฏว่ามีในวงจรสายอากาศน้อยกว่า ในวงจรกลอกของหลอด

ในการจูนวงจรแบบนี้ กระแสไฟและฟรีเควนซีอาจเปลี่ยนค่าโดยทันทีทันใด แม้ว่าการจูนจักได้เปลี่ยนเครื่องจูนไป ในอัตราประจำสม่ำเสมอก็ตาม ปรากฏการณ์เช่นนี้ จะพึงสังเกตเห็นได้ในเมื่อการประสาน



รูป ๒๓๔ แสดงวงจรของหลอดออสซิเลเตอร์ที่ถ่ายกำลังให้แก่วงจรสายอากาศโดยการประสานถ่ายกำลัง

ถ่ายกำลังให้แก่วงจรสายอากาศอย่างชิดเป็นพิเศษ

ทฤษฎีแห่งการไม่ต่อเนื่องกันโดยสม่ำเสมอนี้จักได้นำมาพิจารณาจากแง่ต่าง ๆ กันเพียงเล็กน้อย

สมมติให้ฟรีเควนซี่ของออสซิเลเตอร์ในรูป ๒๓๔ กำหนดโดย

$$\omega_1^2 = \frac{1}{L_1 \cdot C_1}$$

และฟรีเควนซี่ธรรมชาติของวงจรสายอากาศโดย $\omega_2^2 = \frac{1}{L_2 C_2}$ ให้ M เป็นค่าของการประสานถ่ายกำลังให้แก่กันโดยแท้ระหว่าง L_1 กับ L_2 ถ้าเราไม่คิดความต้านทานโอมเข้าด้วยแล้ว ก็จะได้สมการอันให้ค่าของฟรีเควนซี่ ซึ่งวงจรประสานกันอยู่นั้นเป็นเรโซแนนท์โดย

สมมติ $\mathfrak{I}_1$ และ $\mathfrak{I}_2$ แทนค่าของกระแสไฟขณะหนึ่งในวงจรสองวงตามลำดับ ฉะนั้นแรงเคลื่อนที่ทำให้เกิดขึ้นในวงจรที่สอง อันเนื่องจากกระแสไฟ $\mathfrak{I}_1$ ในวงจรที่หนึ่งชักนำ กำหนดเป็นค่า $j\omega M \mathfrak{I}_1$ และในทำนองเดียวกัน แรงเคลื่อนที่ทำให้เกิดขึ้นในวงจรที่หนึ่ง อันเนื่องจาก

กระแสไฟ $\Im_2$ ในวงจรที่สองชักนำ กำหนดเป็นค่า $j\omega M \Im_2$ เพราะฉะนั้น เมื่อกระแสไฟทั้งสองกำลังไหลอยู่ ก็จะได้สมการเป็น

$$\left(j\omega L_1 + \frac{1}{j\omega C_1} \right)\Im_1 = j\omega M \Im_2 \quad .. \quad .. \quad .. \quad (ก)$$

กับ

$$\left(j\omega L_2 + \frac{1}{j\omega C_2} \right)\Im_2 = j\omega M \Im_1 \quad .. \quad .. \quad .. \quad (ข)$$

จาก (ก) $\Im_2 = \left(\frac{L_1}{M} - \frac{1}{\omega^2 M C_1} \right) \Im_1 = \frac{1}{M}\left(L_1 - \frac{1}{\omega^2 C_1}\right) \Im_1$

แทนค่าข้างบนนี้ ลงใน (ข) จะได้สมการแปลงรูปเป็น

$$\left(j\omega L_2 + \frac{1}{j\omega C_2} \right)\left(L_1 - \frac{1}{\omega^2 C_1} \right) \Im_1 \frac{1}{M} = j\omega M \Im_1$$

$$\left(j\omega L_2 + \frac{1}{j\omega C_2} \right)\left(L_1 - \frac{1}{\omega^2 C_1} \right) = j\omega M^2$$

$$\left(-\omega L_2 + \frac{1}{\omega C_2} \right)\left(L_1 - \frac{1}{\omega^2 C_1} \right) = -\omega M^2$$

ใช้ ω คูณทั้งสองข้าง ของสมการจะได้

$$\left(-\omega L_2 + \frac{1}{\omega C_2} \right)\left(L_1 - \frac{1}{\omega^2 C_2} \right) \omega = -\omega^2 M^2$$

$$-\left(\omega L_2 - \frac{1}{\omega C_2} \right)\left(\omega L_1 - \frac{1}{\omega C_1} \right) = -\omega^2 M^2$$

$$\left(\omega L_1 - \frac{1}{\omega C_1} \right)\left(\omega L_2 - \frac{1}{\omega C_1} \right) = \omega^2 M^2$$

เมื่อแทนค่าของ $L_1 C_1 = \frac{1}{\omega_1^2}$ กับ $L_2 C_2 = \frac{1}{\omega_2^2}$ ลงจะได้

$$\frac{(\omega^2 L_1 C_1 - 1)(\omega^2 L_2 C_2 - 1)}{\omega^2 C_1 C_2} = \omega^2 M$$

$$\left(\frac{\omega^2}{\omega_1^2} - 1\right)\left(\frac{\omega^2}{\omega_2^2} - 1\right) = \omega_2 C_1 C_2 \cdot \omega^2 M$$

$$= \frac{1}{L_1 L_2} \cdot \frac{\omega^2}{\omega_1^2} \cdot \frac{\omega^2}{\omega_2^2} M$$

$$\left(1 - \frac{\omega_1^2}{\omega^2}\right)\left(1 - \frac{\omega_2^2}{\omega^2}\right) = \frac{M^2}{L_1 L_2} = K^2$$

หรือ $(\omega^2 - \omega_1^2)(\omega^2 - \omega_2^2) = \omega^4 K^2$

$$\omega^4 - \omega^2 \omega_2^2 - \omega^2 \omega_1^2 + \omega_1^2 \omega_2^2 = \omega^4 K^2$$

$$(1 - K^2)\omega^4 - (\omega_1^2 + \omega_2^2)\omega^2 + \omega_1^2 \omega_2^2 = O$$

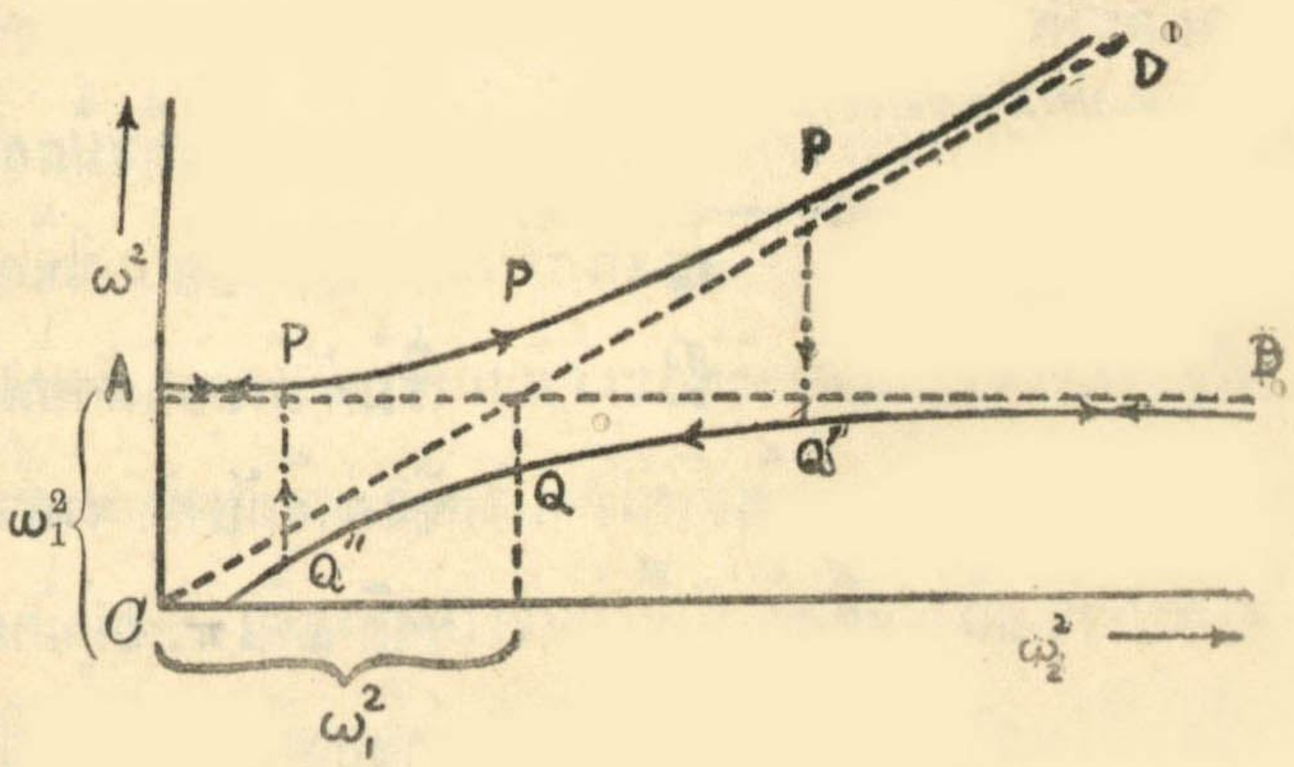
ในสมการข้างต้นนี้ ยอมให้สมมติว่า ω_1 มีค่าประจำคงที่ ส่วน ω_2^2 นั้น เปลี่ยนค่าไปโดยเปลี่ยนขนาดของแคแปซิตี้ C_2 โดยที่ ω_2^2 เปลี่ยนแปลงค่าไป ฉะนั้นค่าของรูทสองค่าของสมการก็เปลี่ยนไปด้วย ลักษณะแห่งการเปลี่ยนแปลงค่าเหล่านี้อาจทายได้โดยถือเอาว่าสมการใน ω^2 นั้น เป็นส่วนสัมพันธ์ระหว่าง ω^2 กับ ω_2^2 ซึ่งสามารถแทนค่าทางกราฟได้โดยไฮเปอร์โปล่า (รูป ๒๓๕ ก.) อันมีอาซิมโทตเป็น

$1 - \frac{\omega_1^2}{\omega_2^2}$ คือว่า $\omega^2 = \omega_1^2$

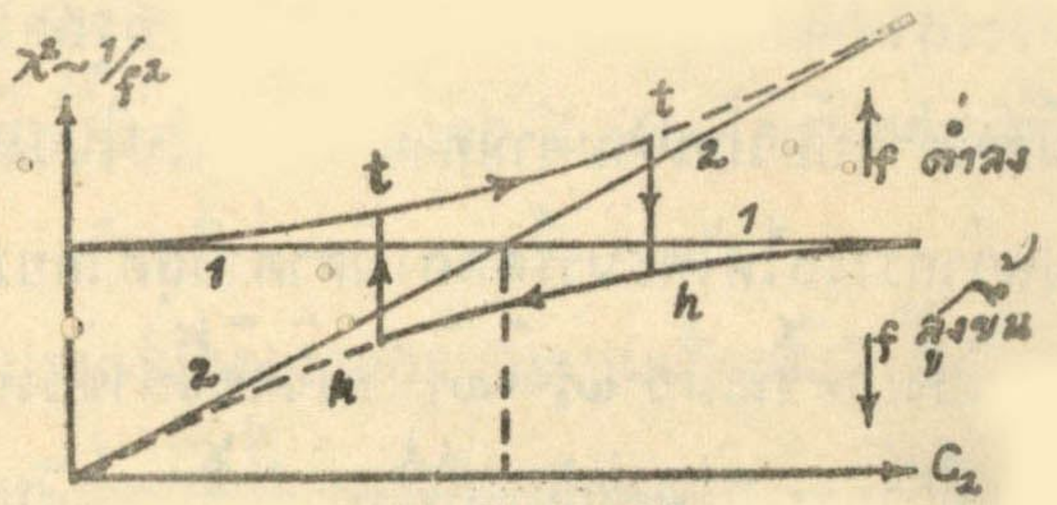
ซึ่งแทนด้วยเส้นตรง CD ทำมุม ๔๕° อยู่กับเส้นแกนในเมื่อใช้สะเกลเท่ากัน สำหรับค่าของ ω_2^2 ค่าหนึ่ง ๆ นั้นมีค่าของ ω สองค่า คือ ค่าหนึ่งใหญ่กว่า ω_1^2 และอีกค่าหนึ่งเล็กกว่า ω_2^2

ฉะนั้นออสซิเลเตอร์ที่ประสานถ่ายกำลังเข้ากับวงจรกระจายกำลังนั้น ตามปกติไม่กลอกด้วยฟรีเควนซีต่างกันสองขนาดในเวลาเดียวกัน

คงมีสมบัติที่จะกลอกตัวสำหรับกระแสไฟอันมีฟรีเควนซีที่ใกล้กับฟรีเควนซีธรรมชาติ ($\omega_1/2\pi$) ของวงจรอย่างที่สุด • ข้อนี้เป็นไปตามหลักแห่งความจริงที่ว่า อิมพีแดนซ์ของวงจรที่ต้านกระแสไฟด้วยฟรีเควนซี $\omega/2\pi$ นั้นจะมีค่าน้อยที่สุดสำหรับค่าของ ω ซึ่งใกล้กับ ω_1 อย่างที่สุด ฟรีเควนซีอันแท้จริงนั้นหาได้โดยวิถีซึ่งมีอิมพีแดนซ์น้อยที่สุด เหตุนี้ฟรีเควนซีของวงจรประสานกันจึงกำหนดได้โดยเส้นโค้งซึ่งอยู่ใกล้กับเส้นนอน AB ที่สุด สำหรับค่าของ ω_2^2 โดยฉะเพาะอันใดอันหนึ่ง ฉะนั้นจำนวนไซเกิลของฟรีเควนซีเปลี่ยนแปลง (โดยที่ C_2 ลดน้อยลง) จะพึงหวังได้ว่าเดินไปตามวิถี $APQB$

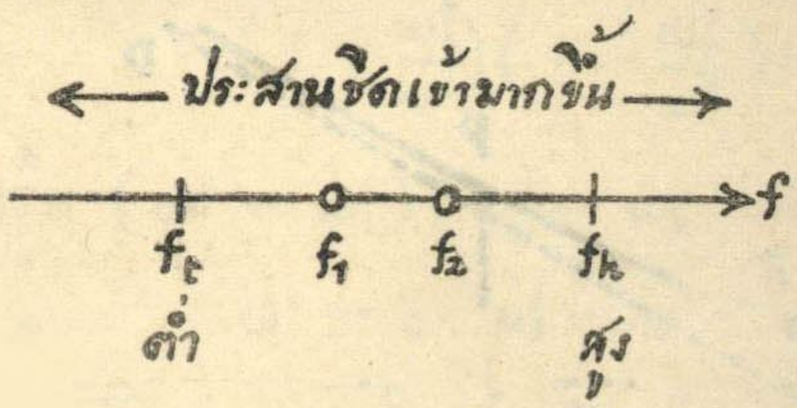


รูป ๒๓๕ ก.



รูป ๒๓๕ ข

สมมติว่าหลอดนั้นทำให้กลอกด้วยฟรีเควนซี่ธรรมชาติ $(\omega_1/2\pi)$ และการประสานระหว่างอินดัคแตนซ์ L_1 กับขดลวดกริดรีแอคชั้นได้เกินค่าอันเหมาะสำหรับจะให้เริ่มต้นกลอกพอดี สำหรับค่าของ ω_2^2 อันมีค่าน้อย คือด้วยค่าของ C_2 ที่มีค่าใหญ่ กระแสไฟในวงจรเซกันดารี่หรือในวงจรสายอากาศจะมีค่าน้อย เพราะฉะนั้นจึงมีผลสำแดงอาการแก่ค่า ω_1 น้อย ในวงจรทั้งหมดนี้จะเริ่มต้นกลอกด้วยฟรีเควนซี่ $\omega/2\pi$ ซึ่งต่างกับค่าจากฟรีเควนซี่ธรรมชาติ $\omega/2\pi$ อยู่น้อยที่สุด อันนี้เป็นค่าที่สูงกว่า โดยเหตุนี้เอง สำหรับค่าของ C_2 อันมีค่าใหญ่ ฟรีเควนซี่ของวงจรนั้นจึงอาจหาได้โดยเส้นโค้งเส้นบนคือ AD เมื่อ C_2 ลดขนาดลงโดยสม่ำเสมอ กระแสไฟในวงจรสายอากาศและการสำแดงผลของกระแสไฟนี้แก่กระแสไฟออสซิเลเตอร์เริ่มรู้สึกได้ การสำแดงผลอันนี้มีค่าเท่ากับบวกความต้านทาน r เข้าไปในวงจรหลอด อันปรากฏผลว่ากระแสไฟไพรมารีตกลงมีค่าต่ำที่สุดโดยรวดเร็ว กระแสไฟต่ำสุดนี้บังเกิดขึ้นเมื่อ $\omega_2^2=\omega_1^2$ ตรงจุดนี้ค่าของกระแสไฟไพรมารีมีค่าน้อยโดยที่ว่ากระแสไฟเซกันดารีซึ่งอาศัยขึ้นอยู่กับกระแสไฟไพรมารี ฉะนั้นกระแสไฟเซกันดารีจึงตกลงด้วย ในเวลาเดียวกัน ฟรีเควนซี่ $\omega/2\pi$ ตกต่ำลงถึงค่า Q อันเล็กกว่าที่หาได้จากเส้นโค้ง CB นั้นโดยรวดเร็วด้วย ครั้นเมื่อ C_2 ยังคงลดต่ำลงต่อไปอีก กระแสไฟไพรมารีก็ทวี



รูป ๒๓๕ ค

ขึ้นโดยรวดเร็ว ส่วนกระแสไฟเซกันดารี่หลังจากเพิ่มขึ้นเล็กน้อยแล้ว ก็ลดค่าต่ำลงต่อไป การตกต่ำในจำนวนฟรีเควนซี่ก็บังเกิดขึ้นด้วยโดย อาการกลับเฟสในกระแสไฟ ถ้าขดลวดรีแอคชั่นของออสซิเลเตอร ประสานกับขดลวด L_1 ชิดกันแล้ว ความต้านทานอันสำแดงผล r ซึ่ง บวกเพิ่มเข้ากับวงจรกลอกอันเนื่องจากอาการ ของ กระแสไฟเซกันดารีนั้น จักต้อง มากกว่า เมื่อ ขดลวดรีแอคชั่น ประสานห่าง กัน ก่อน หน้าที่ การเปลี่ยนแปลงในฟรีเควนซี่โดยฉับพลันจะเกิดขึ้น ภายใต้พฤติภาพเหล่านี้เอง การเปลี่ยนแปลงในฟรีเควนซี่จึงรอช้าอยู่จนกระทั่งกระแสไฟเซกันดารีได้ทวีสูงขึ้นมากพอเพียงสำหรับทำให้อิมพีแดนซ์ทั้งหมดมีค่าลงมาอยู่ในค่าต่ำของ $\omega/2\pi$ เมื่ออาการเช่นว่านั้นบังเกิดขึ้น (ถือเสียว่าที่ P') ฟรีเควนซี่และกระแสไฟเซกันดารีจะตกต่ำลงโดยฉับพลันขณะเมื่อกระแสไฟไพรมารีทวีขึ้นโดยทันที ส่วนความชักช้าในการที่ฟรีเควนซี่เปลี่ยนโดยฉับพลันนั้นแทนได้ด้วยส่วน PP' และอาการนี้จะบังเกิดขึ้นเมื่อการประสาน ขดลวดรีแอคชั่น ทาง กริด ของ ออสซิเลเตอร์เกิน กว่า ค่า พอดี อาการประสานถ่ายกำลังชิดนี้เท่ากับทำให้วงจร $L_1 C_1$ ได้รับความต้านทานเป็นลบ

สำหรับค่าของการประสานกริดรีแอคชั่นอันเหมาะถูกต้องนั้น ค่าสำแดงผลของความต้าน r อันเพิ่มขึ้นในวงจรของหลอด โดยเนื่องจากผลของอาการอินดัคติฟแห่งกระแสไฟเซกันดารี มีค่าพอเพียงที่จะทำให้อิมพีแดนซ์ของวงจรทั้งหมดมีค่าสูงอันเป็นจำนวน $\omega/2\pi$ ซึ่งเท่ากับอิมพีแดนซ์ของตนไปเป็นค่าต่ำลง ส่วนการประสานรีแอคชั่นชิดนั้น

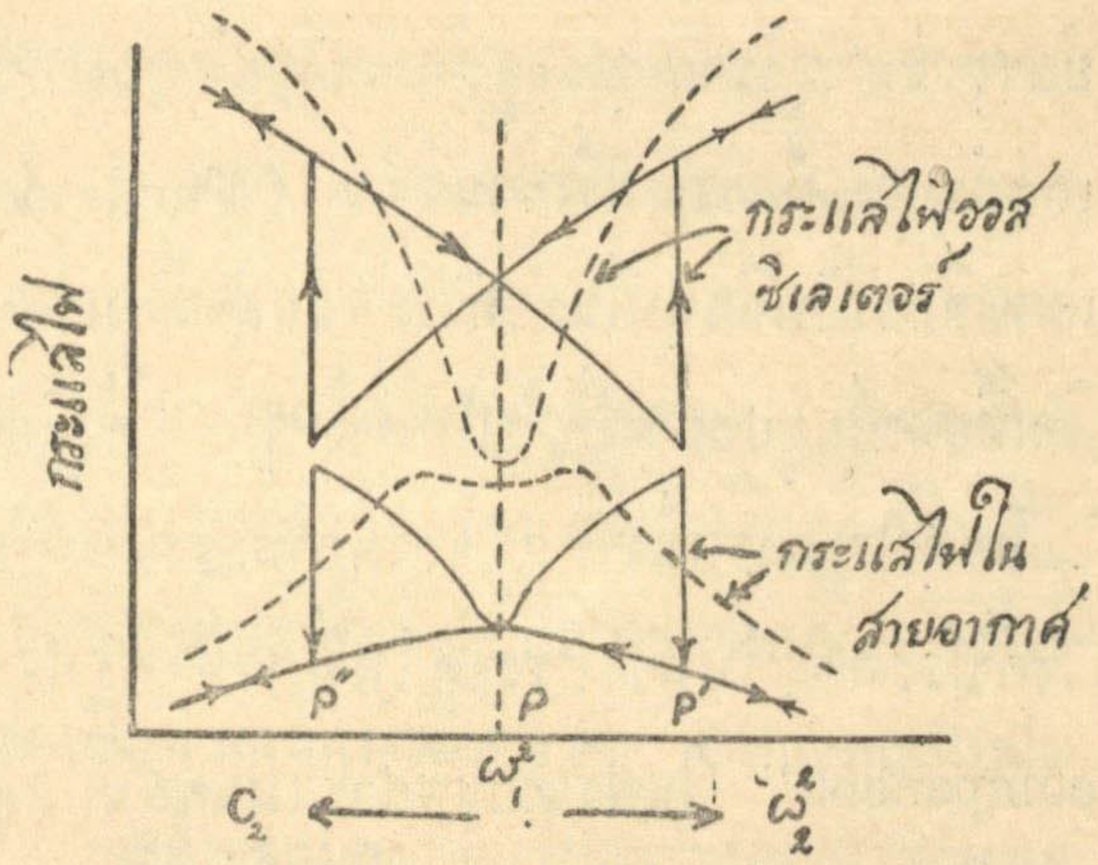
ค่าของความต้านทาน r จะต้องเกินกว่าค่าก่อนเป็นจำนวนเท่ากับความต้านทานลบของวงจรถดอก $L_1 C_1$ พอดี ค่าของ r ที่ใหญ่กว่านี้บังเกิดขึ้นตรงจุด P' แล้วฟรีเควนซีตกลงเป็นค่า Q' เมื่อ C_2 ลดลงต่อไปอีก ดังเอาค่าต่ำของฟรีเควนซี $\omega/2\pi$ ให้เข้ามาใกล้กับ $\omega_2/2\pi$ ยังขึ้นตามลำดับดังแสดงให้เห็นตามเส้นโค้ง QB' ในอาการตรงข้ามกัน คือโดยการที่ค่า C_2 เพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงฟรีเควนซีนั้นแทนด้วยเส้นโค้ง $BQ'QQ''P''A$.

การเปลี่ยนแปลงกระแสไฟตลอดไซเกิลนิสมมติให้แทนได้ตามรูป ๒๓๖ ซึ่งเส้นจุดแสดงการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟสำหรับการประสานรีแอคชันที่ห่าง และเส้นโค้งทึบแสดงการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟสำหรับการประสานกริดรีแอคชันที่ชิด อักษร P, P' และ P'' คงอนุโลมตามทำนองเดียวกันกับค่าของ ω_2^2 ดังในรูป ๒๓๕ ก.

การไม่ต่อเนื่องของกระแสไฟและฟรีเควนซีเหล่านี้บังเกิดขึ้นในออสซิเลเตอร์ซึ่งมีวงจรถดอกทั้งบนกริดและอาโนด ปรากฏการณ์ดังรายที่กล่าวมาแล้ว บางคราวก็เรียกกันว่าอาการ "*Ziehen*" และอาการนี้บังเกิดขึ้นฉะเพาะแต่ในเมื่อมีการประสานถ่ายกำลังชิด แม้ว่าจะได้มีแอมมิเตอร์ต่ออยู่ในวงจรหนึ่งหรือวงจรอื่นก็ตาม การเปลี่ยนแปลงขนาดยาวคลื่นอันมีขึ้นโดยฉับพลันนั้นไม่อาจจะจับได้

แม้ว่ารูป ๒๓๔ จักได้แสดงให้เห็นออสซิเลเตอร์ประสานถ่ายกำลังโดยการชักนำแก่วงจรแผ่กระจายก็ตาม แต่ก็หาเป็นวิธีเดียวสำหรับถ่ายกำลังไม่ การประสานถ่ายกำลังของวงจรที่อาศัยคอนเดนเซอร์

ซึ่งเรียกว่าอาการแคแปซิตีฟนั้น ก็ทำได้ผลดีเช่นเดียวกัน ในเมื่อจุนวงจรเข้าในฟรีเควนซีเดียวกัน และมีข้อดีอยู่ในเรื่องที่ว่า ส่วนใหญ่ของฟรีเควนซีธรรมชาติสองฟรีเควนซีเป็นอย่างเดียวกันกับของวงจร ข้อนี้เป็นข้อตัดสินในความดีกว่าวิธีอื่นๆ ที่ใช้การประสานถ่ายกำลังโดยอาการของสนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้า เพราะเหตุว่าการประสานถ่ายกำลังอาจเปลี่ยนแปลงไปได้ในเขตต์ต่าง ๆ โดยมิทำให้ขนาดยาวคลื่นที่แผ่ออกไปด้วยขนาดสั้นลงนั้นเปลี่ยนแปลงแต่อย่างใด



รูป ๒๓๖ แสดงความสัมพันธ์ของกระแสไฟกลอกในสายอากาศกับการประสานถ่ายกำลังขดลวดชิดและห่าง

ในการต่อสายลงดินของออสซิเลเตอร์ที่ถ่ายกำลังโดยตรงซึ่งเรียกตามภาษาอังกฤษว่า "Directly coupled oscillator" นั้น จักต้องใช้ความระมัดระวังตรวจดูเสียให้แน่ว่าไฟสูงจากสายบวกไม่ต่อลงดินในเวลาเดียวกันกับสายลบ ถ้าหากว่าวงจรของออสซิเลเตอร์รวมทั้งแบตเตอรี่สำหรับจุดไส้หลอดได้มีฉนวนกันไฟฟ้ากั้นไว้แล้วก็ไม่เป็นไร แต่นับว่าไม่เหมาะในทางใช้การ ส่วนมากนั้นมักเอาขั้วข้างหนึ่งของหม้อแบตเตอรี่ต่อลงดิน วิธีสำหรับป้องกันการลัดวงจรของไฟกำลังสูงตาม

ธรรมดานั้นใช้วิธีต่อสายอากาศให้ผ่านลงดินทางคอนเดนเซอร์ที่มีแคแปซิตี้ใหญ่กับมีความต้านอิมพีแดนซ์ต่ำ

ง) ฮารโมนิคส ฟรีเควนซี่ฮารโมนิคส หรือเรียกกันแต่เพียงย่อ ๆ ว่าฮารโมนิคส์ เป็นคำบัญญัติขึ้นสำหรับใช้แสดงจำนวนเท่าแห่งเลขจำนวนเต็มของฟรีเควนซีพื้น (Fundamental frequency) ฟรีเควนซี่ฮารโมนิคส์เป็นตัวทำให้คลื่นอันมีรูปร่างอย่างเส้นโค้งไซนบริสุทธิ์ผิดเพี้ยนเป็นรูปอย่างอื่นไปได้ต่าง ๆ ทั้งนี้ย่อมแล้วแต่จำนวนของฮารโมนิคส์ประการหนึ่ง และความแรงของฮารโมนิคส์อีกประการหนึ่ง องค์ประกอบในทางกระแสไฟที่ภาษาอังกฤษเรียกว่า "Current component" ในฟรีเควนซี่ฮารโมนิคส์นี้ เมื่อทำให้เกิดขึ้นโดยหลอดออสซิเลเตอร์ทำการกลอกตัวไปมาอยู่ด้วยจำนวนฟรีเควนซีพื้นอย่างหนึ่ง กระแสไฟฟรีเควนซี่ฮารโมนิคส์ย่อมมีกำลังแรง หรือความแน่นน้อยกว่ากระแสไฟในฟรีเควนซีพื้นอยู่เป็นจำนวนมาก เพราะฉะนั้นจึงไม่ทำการรบกวนอย่างรุนแรงแก่บรรดาสถานี ที่ตั้งอยู่ในระยะห่างออกไป แม้ว่าจะทำงานอยู่ด้วยจำนวนฟรีเควนซี่อันเท่ากัน หรือใกล้เคียงกับฟรีเควนซีฮารโมนิคส์จำนวนใดจำนวนหนึ่ง แต่ถึงกระนั้นก็ดี ภายในรัศมีรอบบริเวณสายอากาศสถานีส่ง เป็นจำนวนหลายกิโลเมตร ที่ฟรีเควนซีฮารโมนิคส์มีกำลังแรงพอทำความลำบากให้แก่สถานีรับที่ตั้งอยู่ภายในเขตนั้นได้ ด้วยเหตุผลที่กล่าวแล้วนี้อย่างหนึ่ง กับโดยที่กำลังงานที่ส่งแผ่กระจายออกด้วยฟรีเควนซี่ฮารโมนิคส์เป็นกำลังงานที่เสียไปโดยเปล่าประโยชน์อีกอย่างหนึ่ง จึงมีความต้องการในทางที่จะให้ได้รับ

กระแสไฟที่ส่งออกอากาศหรือเรียกว่ากระแสไฟสายอากาศ (Aerial current) อันมีรูปร่างเป็นเส้นโค้งไซนอย่างบริสุทธิ์

การเป็นเรโซแนนซกับฮารโมนิคสนี้ออย่าได้ให้สับสนกันกับหลักแห่งความจริงที่ว่า "สายอากาศที่ไม่เข้าจูนและต่ออยู่กับสายดิน (Untuned earth aerial) จะเข้าเรโซแนนซกับคลื่นที่มีขนาดยาวอันวัดได้ประมาณสี่เท่าของส่วนยาวแห่งสายอากาศ หรือเป็นจำนวนกี่เท่า ๆ ของขนาดยาวคลื่น ถ้ากระแสไฟในภาคจ่ายออก (Owtput) ของออสซิเลเตอรเป็นกระแสไฟมีรูปเส้นโค้งไซนอย่างบริสุทธิ์จริงแล้ว สายอากาศที่รับกำลังจากออสซิเลเตอรเพื่อส่งแผ่กระจายออกนี้ จะไม่กระจายฟรีเควนซีอันมีขนาดเป็นจำนวนเท่าที่หารกัน (Submultiple frequencies) ส่งออกไป จะสำแดงผลแต่ในเรื่องความสามารถของสายอากาศให้รับฟรีเควนซีต่าง ๆ เหล่านี้ได้โดยมิต้องทำการจูนอีก

การที่มีคลื่นฮารโมนิคสแผ่กระจายออกไปนี้ ส่วนใหญ่เนื่องมาจากการออกแบบเครื่องส่งไม่ดีประการหนึ่ง และเครื่องทำงานเลวอีกประการหนึ่ง แต่ก็อาจเกิดจากเหตุอื่น ๆ อันเป็นตัวทำให้รูปร่างของคลื่นเพี้ยนรูป (Distort) ไปได้เหมือนกัน เหตุที่ทำให้เกิดอาการเพี้ยนรูปตามธรรมดาส่วนมากที่ปรากฏมาแล้ว เป็นด้วยการถ่ายกำลังป้อนกลับ (Reaction coupling) ชิดกันมากเกินไป เพราะการทำให้กำลังป้อนกลับแรงมากไปนี้ ทำให้แอมปลิจูดของกำลังดันกระทำแก่กริดของหลอดเปลี่ยนแปลงไปมาก ๆ เมื่อเป็นเช่นนี้ ถ้ากำลังดันที่กระทำแก่กริดเกินเซตต์อิ่มตัวไปมากแล้ว ก็ทำให้การเปลี่ยนแปลงในกระแสไฟอาโนดอยู่ตรงจุดบนอันมีอาการลาดแบน คือเซตต์ของกระแสไฟอิ่มตัว

ซึ่งเป็นอาการอย่างเดียวกันกับอาการที่ฟรีเควนซีของหลอดออสซิเลเตอร์ ต้องขึ้นอยู่กับวงจรที่ถูกถ่ายกำลังป้อนให้ ฟรีเควนซีธรรมชาติของวงจรสายอากาศจะสำแดงอิทธิพลแก่ฟรีเควนซีที่ส่งแผ่ออกไป แต่ว่าความแรงของฮารโมนิคส์อันเกิดจากผลของฟรีเควนซีหลาย ฟรีเควนซีอันสายอากาศจะเข้าเรโซแนนซ์นั้น ส่วนมากไม่ต้องคำนึงถึง อาการที่กล่าวนี้จะมองเห็นได้จากการกระจายเลขอันเนื่องจากอาการของ Mohler. (Jahrb d. draht Teleg. u. Teleph. Band 14.)

เมื่อใช้วงจรในรูป ๒๑๙ มาเป็นหลักพิจารณา และทำให้ค่าของ u_a กับ $\mathfrak{S}_c$ จากสมการ 187, 188 และ 190 หมดไป ได้ความสัมพันธ์เป็น

$$\mathfrak{z}_L = \frac{\mathfrak{z}_a}{(1 + j\omega C_a R_a + j^2\omega^2 L_a C_a)}$$

บัดนี้ได้ $\frac{\delta}{\pi} = \frac{R_a}{\omega L_a}$ ในเมื่อ δ เป็น (Logarithmic decrement) ของวงจร และ $\omega_o^2 = 1/L_a C_a$ เมื่อ $\omega_o/2\pi$ เป็นฟรีเควนซีธรรมชาติของวงจร โดยเหตุที่ $\omega^2 L_a C_a = \frac{\omega^2}{\omega_o^2}$ และ $\omega C_a R_a = \frac{\delta}{\pi} \cdot \frac{\omega^2}{\omega_o^2}$ เพราะฉะนั้น เมื่อแทนค่าเหล่านี้ลงในสมการข้างบนแล้วก็จะกลายเป็น

$$\mathfrak{z}_L = \frac{\mathfrak{z}_a}{(1 - \frac{\omega^2}{\omega_o^2} + j\frac{\delta}{\pi} \cdot \frac{\omega^2}{\omega_o^2})} \quad .. \quad .. \quad (219)$$

ความนี้ให้ฟรีเควนซี $\omega/2\pi$ เป็นฮารโมนิคส์ของ $\omega_o/2\pi$ คือว่าให้ $\omega = n\omega_o$ เมื่อ $n = 1, 2, 3$ ฯลฯ ครั้นหาค่าแอบโซลูทโดยการกระจายสมการ (219) ทั้งสองข้างก็จะได้สมการเป็นรูปดังข้างล่างคือ

$$\mathfrak{F}_L' = \frac{\mathfrak{F}_a'}{\sqrt{\left[(1-n^2)^2 + (n^2\frac{\delta}{\pi})^2\right]}} = \frac{\mathfrak{F}_a'}{K}$$

ความสัมพันธ์ของสมการข้างบนนี้ชี้ให้เห็นผลของฮารโมนิคส์สำแดงแก่กระแสไฟ $\mathfrak{F}_L'$ ในกระแสไฟอาโนด $\mathfrak{F}_a'$ ความแรงหรือความแน่นของกระแสไฟ $\mathfrak{F}_L'$ นี้เห็นได้อย่างชัดแจ้งว่าขึ้นอยู่กับ Logarithmic decrement ของวงจร ซึ่งตามปกติมีค่าอยู่ในราว 0,05 หรือน้อยกว่านั้น ให้ค่าของ δ สำหรับลักษณะที่แรงที่สุดเป็น 0,5 และเป็น 0,05 ในลักษณะตามปกติแล้ว เมื่อค่าของ $\mathfrak{F}_a'$ เท่ากับหน่วย และความแรงของฮารโมนิคส์ที่สอง $_2\mathfrak{F}_L'$ เท่ากับ $\frac{\mathfrak{F}_a'}{2}$ ส่วนของฮารโมนิคส์ที่สาม $_3\mathfrak{F}'$ เท่ากับ $\frac{\mathfrak{F}_a'}{3}$ ฯลฯ ค่าของความแรงฮารโมนิคส์ที่ n ใน $\mathfrak{F}_L'$ (คือว่า $n\mathfrak{F}'$) นี้ได้ตรอกแสดงไว้ในตารางช่องที่สี่และที่เจ็ดข้างล่างคือ

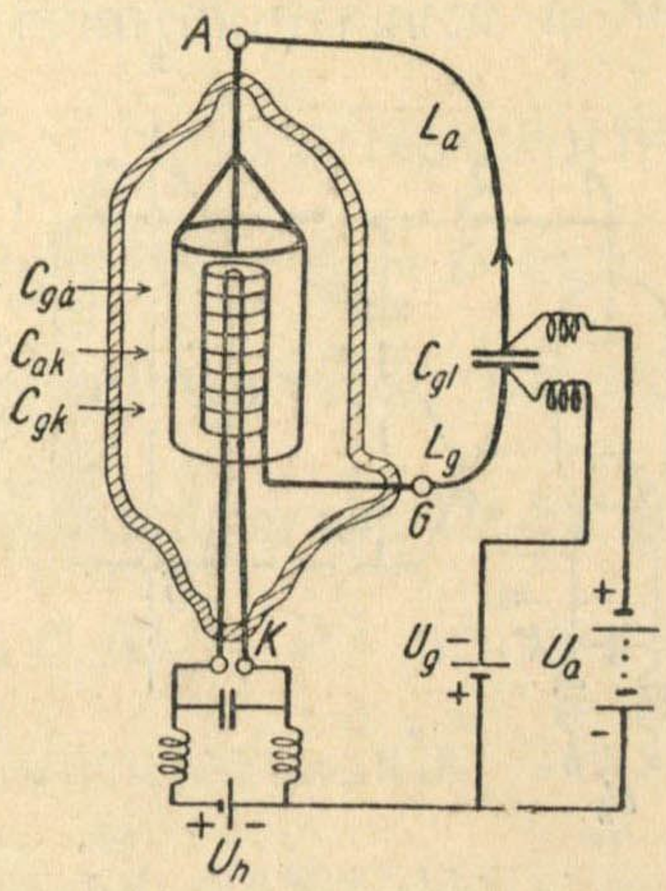
ความแรงของฮารโมนิคส์	ลำดับของฮารโมนิคส์	$\delta = 0{,}5$			$\delta = 0{,}05$		
$\mathfrak{F}_a'/n$	n	K	$n\,\mathfrak{F}_L'$	$n\,\mathfrak{F}_L'/\mathfrak{F}_L'$	K	$n\,\mathfrak{F}_L'$	$n\,\mathfrak{F}_E'/\mathfrak{F}_L'$
1,0	1	0,159	6,29	1,0	0,0159	62,9	1,0
0,5	2	3,34	0,155	0,025	3	0,166	0,0026
0,33	3	8,14	0,041	0,006	8	0,042	0,0006
0,25	4	15,4	0,016	0,0025	15	0,017	0,00027

จำนวนเลขที่แสดงอยู่ในตารางช่องที่ห้าและช่องที่แปดนั้นแสดงอัตราส่วนของกำลังแรงในฮารโมนิคส์ n ต่อกำลังแรงกระแสไฟฟ้าเดิม s_L' ตัวเลขเหล่านี้เมื่อเปรียบเทียบกับบรรดาเลขที่อยู่ในตารางช่องที่หนึ่งแล้วย่อมแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า ฮารโมนิคส์ใน s_L เป็นค่าที่ควรจะตัดทิ้งเสียได้ตั้งแต่ฮารโมนิคส์ใน s_L' มีค่าเป็นครึ่งหนึ่ง หรือหนึ่งในสามของแอมปลิจูดของกระแสไฟฟ้าเดิม (Fundamental) วงจรสายอากาศที่ประสานถ่ายกำลังเข้ากับ L_a นั้น ถ้าได้จัดเลือกแต่งให้มีความคมปานกลางแล้ว คงจะทำการลดทอนอัตราส่วนของแอมปลิจูดแห่งกระแสไฟฮารโมนิคส์ต่อกระแสไฟฟรีเควนซีให้ต่ำลงต่อไปอีกในทางใช้การที่แท้นั้น การแผ่กระจายคลื่นออกจากออสซิเลเตอร์ที่ใช้หลอดของวงจรที่ได้ออกแบบอย่างดี ถือว่าการประสานถ่ายกำลังไปให้แก่วงจรสายอากาศโดยวิธีใช้คอนเดนเซอร์เป็นตัวประสาน ย่อมจะทำได้โดยปราศจากฮารโมนิคส์ได้ดีกว่าเครื่องเยนเนอเรเตอร์ฟรีเควนซีแบบอื่น ๆ

๕. เครื่องส่งที่ใช้การถ่ายกำลังป้อนกลับสำหรับคลื่นสั้น

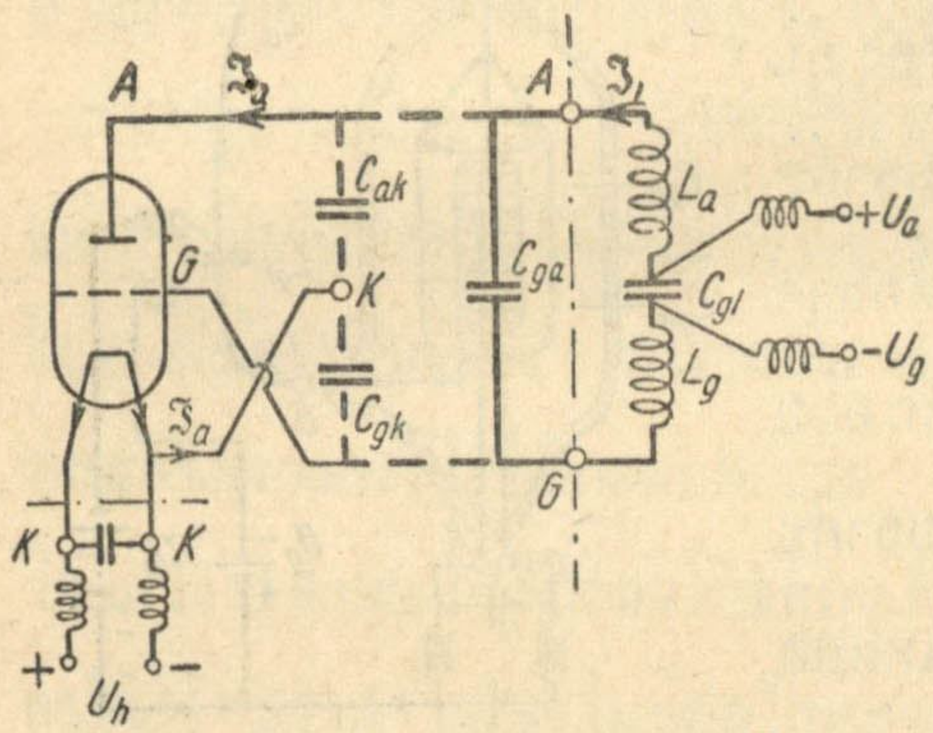
องค์หนึ่งในคุณสมบัติทางเทฆนิคของการกะตุ้นกำลังในตนเองที่นับว่าสำคัญที่สุดมีอยู่ว่า จะต้องให้สามารถแต่งจำนวนฟรีเควนซีของกระแสไฟสลับซึ่งทำการกะตุ้นกำลังในตนเองได้โดยการเลือกขนาดของอินดัคแตนซ์และแคแปซิตี้ที่เหมาะส่วนกัน เมื่อทำให้ขนาดของแคแปซิตี้อินดัคแตนซ์เล็กลงก็ย่อมได้รับจำนวนฟรีเควนซีสูงขึ้นตามส่วน สำหรับฟรีเควนซีสูง ๆ ไปจนถึง 10^7 ไซเกิล ($\lambda = 30$ ม.) สามารถให้หลอด

ทำการกะตุ้นกำลังกลอกไปมาโดยปราศจากความยากลำบากแต่อย่างใด แต่ในย่านฟรีเควนซี่ที่สูงยิ่งไปกว่าที่กล่าวนี้ ย่อมจะได้รับความลำบากจากเหตุอันเกิดด้วยอาการแคแปซิตี้และอาการอินดัคแตนซตามธรรมชาติในขนาดต่าง ๆ ตามแต่ตำแหน่งและส่วนกระจายของแคแปซิตี้ระหว่างอิเลคโทรดภายในหลอดประการหนึ่ง และแคแปซิตี้กับอินดัคแตนซของสายต่าง ๆ ที่ใช้ในการต่อวงจร ระหว่างส่วนประกอบเครื่องอันอาจจะลดทอนให้น้อยลงได้โดยไม่จำกัดเขตต์อีกประการหนึ่ง อาการที่กล่าวนั้นเอง สามารถทำให้หลอดกลอกด้วยขนาดคลื่นต่ำกว่า 10 ม.ได้ ด้วยอาศัยส่วนของแคแปซิตีตามธรรมดาในหลอดเอง โดยมิต้องใช้แคแปซิตีภายนอกเลยทีเดียว และในเรื่องอินดัคแตนซก็เหมือนกันเพียงแต่ใช้เส้นลวดท่อนสั้น ๆ โค้งต่อเข้าระหว่างอาโนดกับกริด ($L_a + L_g$) รูป ๒๓๗ และมีคอนเดนเซอร C_{gl} สำหรับกันกำลังไฟตรงไว้เท่านั้นก็เป็นการพอเพียง การติดต่อของวงจรที่แสดงว่าส่วนไหนมีอาการสำแดงผลอย่างไรนั้น อาจแสดงให้เห็นตามรูป ๒๓๘ ตามวงจรในรูปที่กล่าวนี้ กะตุ้นกำลังในอาการกลอกของตนเองอยู่ในวงไฟที่เชียนด้วยเส้นหนาและกำลังแรงของกระแสไฟ S_L มีค่าใกล้เคียงเป็น 8 เท่า



รูป ๒๓๗ แสดงการติดต่อเครื่องส่งแบบถ่ายกำลังม้อนกลับสำหรับคลื่นสั้น

คือหมายความว่า ในเมื่อมีการเสื่อมกำลังแต่เพียงน้อย ๆ นั้นค่าของกระแสไฟจะมีประมาณ 100 เท่าของ กระแส อิเลคทรอน $\Im_a$ ในหลอด ดังอุทาหรณ์สำหรับกระแสไฟ $\Im_a = 10A$ จำนวนกระแสไฟที่มีกำลังแรงเช่นนั้นไหลอย่างกระแสไฟประจุเข้าคอนเดนเซอร ระหว่าง A และ G ในหลอดเพราะเหตุว่าแคแปซิตี ตามธรรมชาติ C_{ga} นั้นส่วนมากอยู่ภายในหลอด ฉะนั้นจึงเป็นที่รู้กันว่า ทางเดินของกระแสไฟภายในหลอดนั้นจักต้องมีคุณสมบัติปราศจากการเสีย กำลังสำหรับฟรีเควนซีสูงมาก ๆ เช่นนี้อย่างจริงจัง สำหรับหลอดอย่างธรรมดาที่ใช้กันอยู่ กระแสอิเลคทรอนอย่างอ่อน ๆ ก็อาจสามารถทำให้ที่ต่อสายของอิเลคโทรด ผ่านแก้วนั้นเป็นหลอดณที่ G และ A ในรูป ๒๓๗ ร้อนขึ้นได้อย่างง่ายดายจนทำให้แก้วแตกร้าวได้ โดยเหตุนี้เองจึงจำเป็นจักต้องทำหลอดตรงตำแหน่งที่สายต่อเข้าอิเลคโทรดให้มีความแข็งแรงเป็นพิเศษ จำพวกหลอดส่งขนาดใหญ่สำหรับคลื่นสั้นนั้น ไม่ได้ต่อสายเข้ากริดที่หลอดภายใต้หลอดอย่างหลอดเล็ก ๆ แต่จะทำที่ต่อไว้ที่อันดังแสดงอยู่ในรูป ๒๓๗ อันเป็นตำแหน่งข้าง ๆ หลอดเป็นเดือยยื่นออกไปทางข้าง ทั้งนี้เพื่อให้สามารถ



รูป ๒๓๘ วงจรที่สำแดงผลในการทำงานของรูป ๒๓๗

ทำสายต่อวงจร L_g+L_a สั้นเข้าได้ประการหนึ่ง และเพื่อทำให้แคแปซิตี C_{gK} เล็กลงอีกประการหนึ่ง

ตามที่มองเห็นได้จากรูป ๒๓๘ ในลักษณะที่ $\mathfrak{z}_a \ll \mathfrak{z}_L$ นั้น ย่อมจะได้แฟคเตอร์ถ่ายกำลังอันกำหนดค่าใกล้เคียงให้เป็น

$$\mathfrak{F} = -\frac{u_g}{u_a} = \frac{1/C_{gK}}{1/C_{aK}} = \frac{C_{aK}}{C_{aK}}$$

หากว่าแคแปซิตีที่กล่าวข้างต้นนั้น เกิดขึ้นโดยสนามภายในกะบอกอาโนดแต่อย่างเดียว ย่อมจะได้ค่าของ $\mathfrak{F} = D$ อันมีค่าเท่ากันกับดัวรุชกริฟฟ์ของหลอด (เปรียบเทียบหนังสือ Elektronen Röhren und ihrer technichen Anwendungen von Dr. H. Barkhausen Band I. หน้า 71 กล่าวว่า ($C_a/C_g = D$) ฉะนั้นการกะตุ้นกำลังในตัวเองตามสูตร (178) จึงไม่สามารถจะเป็นได้ เพราะในหลอดที่มีค่าของดัวรุชกริฟฟ์ 1 ถึง 2% นั้น ขนาดของแคแปซิตี C_{gK} อันเป็นจริงมีค่าใหญ่กว่า 1/100 ถึง 1/50 เท่าของ C_{ga} อยู่เป็นจำนวนมากมาย หรือเมื่อต้องการวัดหาค่าให้ถูกต้องแน่นอน ก็จำเป็นจักต้องหาวิธีพิเศษเพื่อทำการจัดหาจำนวนที่ปรากฏอยู่ของ C_{ga} และ C_{ga} ด้วยเหมือนกัน ต้นเหตุในเรื่องนี้เนื่องมาจากสนามไฟฟ้าที่กระจายออกมาจากกะบอกอาโนดไปสู่ภายนอกเข้าสู่ C_{aK} มีค่ามากเท่ากว่าสนามไฟฟ้าที่กระจายเข้าไปข้างในกะบอก ทั้งนี้เนื่องจากในระหว่างนั้นมีกริดของหลอดขั้นอยู่ อันทำหน้าที่เป็นสนามกันไฟฟ้าเกือบบริบูรณ์ สำหรับสิ่งแรกส่วนใหญ่เกิดจากสายต่าง ๆ ทั้งหลายที่ใช้ในการประกอบเครื่อง

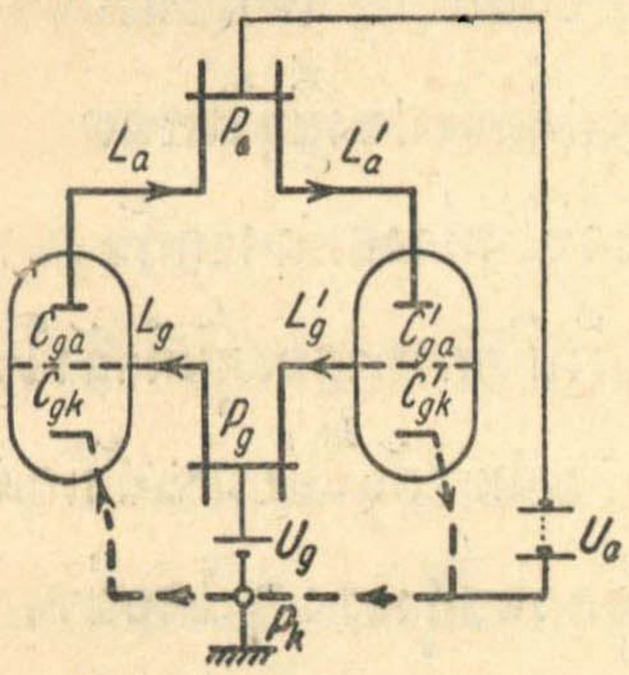
เข้าด้วยกันอย่างหนึ่ง และส่วนต่าง ๆ ที่เป็นโลหะอยู่ในบริเวณข้างเคียงนั้นอีกอย่างหนึ่ง นอกจากนี้ยังมีอาการของแคแปซิตีในเมื่อนำมือเข้าไปใกล้เครื่องหรือห่างจากเครื่องสำแดงผลจนเป็นที่รู้สึกได้มาก ๆ เหมือนกัน สิ่งที่นับว่าสำคัญเป็นพิเศษอีกอย่างหนึ่งก็คือขดลวดโช๊คฟรีเควนซี่สูง (R. F.choke) ซึ่งต่ออยู่กับคาโทด K ของหลอดโดยมีกำลังดันไฟต่ำสำหรับเผาคาโทด U_h พวกหนึ่ง และที่ต่อคร่อมคอนเดนเซอร C_g อันมีกำลังดันตรงของกริด U_g และของอาโนด U_a อีกพวกหนึ่ง บรรดาต้นกำเนิดของกำลังดันไฟฟ้าทั้งหลายที่ป้อนกำลังไปจ่ายให้ในการต่าง ๆ ดังกล่าวแล้วนั้นล้วนแต่เป็นส่วนมีเซตต์กว้างขวางไปรอบด้าน ซึ่งสำหรับแคแปซิตีอันเกิดขึ้นจากธรรมชาติในตนเองของส่วนเหล่านี้ก็พอเพียงเป็นทางนำกระแสไฟลงดินสำหรับฟรีเควนซี่สูง ๆ ได้ ทางที่ดีที่สุดจึงควรจะต้องต่อสายให้ใกล้ ๆ กับหลอดหรือติดกับหลอดทีเดียว และยิ่งขนาดคอนเดนเซอรตัวที่มีแคแปซิตีใหญ่แล้วต้องต่อลงดินได้เป็นพิเศษ สำหรับฟรีเควนซี่สูงมาก ๆ ขดลวดโช๊คย่อมมีอาการสำแดงผลลดต่ำลงไปมากบ้างน้อยบ้าง เพราะเหตุว่าขดลวดโช๊คนั้นมีแคแปซิตีอันเกิดจากธรรมชาติในระหว่างขดลวดเป็นสะพานต่อให้ฟรีเควนซี่สูงผ่านไปได้ จึงอาจใช้คอนเดนเซอรขนาดเล็กอันแต่งให้เข้าจูน เพื่อทำให้ขดลวดโช๊คมีอาการกลอกจนสามารถทวีความต้านขึ้นเป็น 8 เท่า แต่ก็นับว่าเป็นการค่อนข้างเสียเวลาและยากอยู่สักหน่อย และมิได้ลดทอนการเสียกำลังในโช๊คให้ต่ำลงด้วย โดยเหตุนี้เอง คอนเดนเซอรที่ต่อเป็นพวงเข้าด้วยนั้นก็เป็นแต่เพียงเครื่องสำหรับชดเชยกระแสไฟ Blindstrom เท่านั้น ทาง

เดินของกระแสไฟฟริเควนซี่สูงจาก C_{gl} ผ่านขดลวดโช๊คไปบน U_g, U_a และ U_h เพื่อไปยัง K นั้นไม่ค่อยจะแน่นอน ดังที่เห็นได้จากรูป ๒๓๗ โดยเหตุนี้จึงทำให้กำลังดันใน K และตัวถ่ายกำลังป้อนกลับ $\mathfrak{k}$ อันเนื่องจากความไม่แน่ชัดใน C_{aK} นั้นไม่แน่นอนยิ่งขึ้นอีก เพราะฉะนั้นจึงไม่เป็นที่หน้าประหลาดอันใดว่า เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นในขดลวดโช๊คแต่เพียงเล็กน้อย คือโดยการดึงวงขดลวดให้ห่างออกจากกัน หรือกดวงขดลวดโช๊คให้ชิดเข้าหากัน แล้วบังเกิดอาการกะตุ้นกำลังในตนเองสำแดงอิทธิพลขึ้นอย่างแรงอยู่เนือง ๆ อาการอันนี้ย่อมจะสังเกตพบบ่อย ๆ ว่า ขดลวดโช๊คที่มีกระแสไฟฟริเควนซี่สูงแรง ๆ ไหลผ่านย่อมจะไหม้

การใช้ขดลวดโช๊คดังกล่าวนี้ อาจจะเลี่ยงเสียได้เหมือนกัน ในเมื่อทำให้กำลังดันที่ K และ C_{gl} มีค่าใหญ่เท่ากันโดยวิธีเทียม คือจะทำได้เช่นนี้ก็ในเมื่อทำให้ $\frac{L_a}{L_g} = \frac{C_{gk}}{C_{ak}}$ แล้ววงจรกลอกนั้นก็บังเกิดการติดต่อเป็นอย่าง Wheatstone bridge เพื่อที่จะให้อำการเป็นไปตามข้อกำหนดข้างต้นได้ จึงจำต้องต่อคอนเดนเซอร C_{gl} เข้าตรงตำแหน่งของวงลวด L_a และ L_g ในลักษณะที่ทำให้ได้แฟคเตอรการถ่ายกำลังป้อนกลับ $\mathfrak{k} = \frac{L_g}{L_a}$ แล้วจึงต่อเข้ากับแคแปซิตีตามธรรมชาติอันใดอันหนึ่งของแคแปซิตีสองอันนั้น

แล้วแต่งแคแปซิตีคอนเดนเซอรที่ต่อเป็นพวงเข้านั้น ไปจนกระทั่งไม่มีกระแสไฟฟริเควนซี่สูงเดินผ่านสายอันเป็นทางเดินของกระแสไฟตรงใน K และ C_{gl} อาการเช่นนี้ เป็นเครื่องแสดงว่า ตรงจุดทั้งสองนั้น

มีกำลังดันเท่ากัน และมีโปเตนเชียลอย่างดิน (Earth potential) [การที่จะให้มีค่าเท่ากัน ถูกต้องจริงนั้น ไม่เพียงแต่จะต้องแต่ง ความต้านริแอคแตนซให้เท่ากันอย่างเดียว ยังจะต้องแต่งความต้านสำแดงผล ของบริจนั้นอีกด้วย อาการที่ว่านี้ยังใช้ได้กับวงจร Posh Pull เหมือนกัน สำหรับในเรื่องฟรีเควนซีสูงมาก ๆ นั้น คอนเดนเซอร ที่ต่อเพิ่มเติมขึ้น เพื่อใช้ในการแต่งแคแปซิตีนี้ อาจใช้วิธีเลื่อนให้ส่วนประกอบเครื่องอันเป็นโลหะต่อลงดิน ใกล้ชิดเข้ามาอย่างหนึ่ง หรือโดยการงอเส้นลวดที่ใช้เดินสาย ภายในเครื่องอีกอย่างหนึ่ง.



รูป ๒๓๙ แสดงวงจรแบบ Push Pull สำหรับคลื่นสั้น

สิ่งที่นับว่าง่าย และสะดวกกว่าที่กล่าวแล้วก็คือ การใช้วงจรชะนิดที่ไม่ต้องใช้ขดลวดโช๊ค ซึ่งเรียกว่าวงจร Push Pull (รูป ๒๓๙) ในวงจรแบบนี้มีอาการอันเป็นสมบัติที่จะต้องทำความเข้าใจคือ กำลังดันไฟที่อาโนด ของหลอดหนึ่งมีค่าถึงเซตต์สูงสุดพอดี กำลังดันไฟอาโนดของอีกหลอดหนึ่งมีค่าต่ำที่สุด สำหรับอาการในกำลังดันไฟที่กริดเป็นดังนี้เหมือนกัน จุดที่เป็นซิมเมตริกันสามจุด P_a, P_g, P_K นี้ไม่มีกระแสไฟสลับไหลผ่านเลยทั้งสามจุด ฉะนั้นจึงสามารถเอามาต่อรวมกันเข้ากับกำลังไฟตรงได้ กระแสไฟที่นับว่าสำคัญ (Haupt-strom) นั้นไหลผ่าน แคแปซิตีภายในหลอด C_{ga}, C'_{ga} และสายลวด

L_a, L'_a กับ L_g, L'_g โดยการเปลี่ยนแปลงความยาวทั้งสอง ของเส้นลวดเหล่านี้ สามารถให้แต่ง อัตราส่วนสัมพันธ์ของ L_g / L_a ให้ได้รับค่าของแฟคเตอร์ถ่ายกำลังป้อนกลับ ซึ่ อันมีขนาดต่าง ๆ ตามความประสงค์ ในเรื่องอัตราส่วน C_{gK}/C_{aK} นั้น ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องด้วย ทั้งนี้เป็นด้วยกระแสไฟฟรีเควนซี่สูงอันมีจำนวนน้อยซึ่งเดินผ่านทาง C_{gK} เป็นกระแสไฟรับเอามาจาก C'_{gK} ของหลอดอื่น แคแปซิตีกระทำอยู่กับดิน (Earth capacity) C_{aK} และ C'_{aK} ทั้งสองนี้ ต่อเป็นพวงขนานอยู่กับ L_a และ L'_a เพราะฉะนั้น จึงไม่มีอิทธิพลอย่างอื่นมาสำแดงไปแรงกว่าในการทำให้ค่าของฟรีเควนซี่ลดต่ำลง ความไม่เท่ากันในแคแปซิตีภายในหลอดอันหนึ่ง ๆ นี้ สามารถทำให้เท่ากันได้โดยการทำให้เส้นลวด L มีส่วนยาวไม่เท่ากันเป็นเครื่องแก้ ส่วนความไม่เท่ากันในเส้นโค้งลักษณะของหลอด โดยที่ต่อ คอนเดนเซอร เข้าตรงจุด P_K, P_g หรือ P_a ของวงจรกลอก เพื่อเป็นทางสำหรับเบี่ดให้กระแสไฟฟรีเควนซี่สูงเดินผ่านไปโดยปราศจากการขัดขวางจะได้มีขนาดก็ตาม แต่ก็ทำให้สามารถปรับหรือแต่งกำลังดันไฟตรงสำหรับหลอดทั้งสองนั้นได้อีกต่างหาก

สำหรับแคแปซิตีตามธรรมชาติภายในหลอด คือ $C_{ga} = 10$ ซม. เมื่อต่อหลอดเข้ากับเส้นลวดประกอบวงจรกลอกอันมีส่วนยาว ของเส้นลวด 25 ซม. เป็นตัว $L_a + L_g$ นี้ จะได้รับฟรีเควนซีธรรมชาติของวงจรที่กล่าวนี้ ประมาณ 10^8 ไซเกิล ($\lambda = 3$ ม) ด้วยขนาดยาวคลื่นอันนี้ได้ความต้านรีแอคแตนซ์ $\omega L = \frac{1}{\omega C} = 160$ โอม ฉะนั้น

เมื่อทำให้อาการเรโซแนนซสูงเลยขึ้นไปเป็น $\vartheta = 50$ จะทำให้เกิดเป็นความต้านสำแดงผลภายนอกอันมีค่าน้อยกว่า $\Re_a = 1800$ โอม สักเล็กน้อย ซึ่งค่าที่กล่าวนี้สำหรับการกะต้นกำลังในตนเอง และสำหรับการที่จะให้เครื่องจ่ายกำลังออกทำงานเป็นผลดีนั้น นับว่ายังมีค่าใหญ่พอเพียง คลื่นที่มีความยาว $\lambda = 3$ ม นั้น จะพูดกันในทางเทฆนิคคลื่นสั้นแล้ว ไม่เป็นการยากที่จะทำให้เกิดขึ้นได้ หากแต่ในหลอดส่งขนาดใหญ่นั่นแหละ ย่อมจะได้รับความยากลำบากมากอยู่ เพราะในหลอดส่งขนาดใหญ่นั้น ขนาดของแคแปซิตีตามธรรมชาติภายในหลอดอย่างหนึ่ง และลวดที่ใช้สำหรับในการเดินสายประกอบเครื่องที่ต้องการให้มีขนาดสั้นที่สุดที่จะทำได้อีกอย่างหนึ่งเหล่านี้ จำเป็นต้องใช้ขนาดเพิ่มขึ้น ในอาการตรงกันข้าม สำหรับหลอดขนาดเล็กมาก ๆ เมื่อได้จัดวางรูปร่างการติดต่อที่ดี (ชะนิดที่ใช้ขั้วหลอดเป็นทางต่อสายเข้าที่ K, G, A. ไม่ร่วมในขั้วจับหลอดอันเดียวกัน) ก็สามารถจะทำให้เกิดคลื่นมีขนาดยาวต่ำกว่า 1 ม ลงได้ คือ ลดลงถึงประมาณ 30 ซม. แต่เป็นของธรรมดา เมื่อใช้หลอดขนาดเล็ก ก็ย่อมจะทำได้เพียงกำลังน้อย ๆ เท่านั้น สิ่งที่น่าสังเกตอีกอย่างหนึ่ง ก็คือว่า สำหรับคลื่น $\lambda = 40$ ซม. ในคลื่นที่ยืนตัวคงที่ ตรงท่อนเส้นลวด ที่ยาวเพียง $\lambda/4 = 10$ ซม. ปลายข้างหนึ่งก็มีกำลังดันสูงสุด และปลายอีกข้างหนึ่ง มีกำลังดันต่ำสุด ซึ่งทำให้มีความต่างกันในกำลังดันระหว่างปลายทั้งสองของท่อนเส้นลวดที่กล่าวแล้ว เป็นอัตราส่วน $\vartheta \approx 100$ บังเกิดขึ้น สำหรับคลื่นขนาดสั้นมากๆ เช่นนั้น ยังมีสิ่งที่ทำให้รู้สึกผิดสังเกตเป็น

อย่างมากอีก คือเรื่องเวลาโคจรของอิเลคทรอนภายในหลอด เพราะว่า กระแสไฟอาโนดไม่เปลี่ยนแปลงค่าในเวลาพร้อมกันกับจังหวะของกำลังดันบังคับที่กระทำแก่หลอดอีกต่อไป แต่จะเปลี่ยนแปลงค่าล่าช้ากว่าสักหน่อย และความชัน S ของหลอดมีความต่างเฟสเป็นลบตาม ถ้าแฟคเตอร์การถ่ายกำลังป้อนกลับ K มีความต่างเฟสเป็นลบ ดังที่เป็นอยู่ตามปกติแล้ว หลอดนั้นจะทำงานดีไปจนถึงขีดที่กำหนดเต็มที่ เพราะโดยที่ความต่างเฟสมีค่าเป็นบวกนี้ จะต้องมีค่าเป็น $1/S\Re_a$ และบางตอนก็จะต้องเป็น $1/S$ คือหมายความว่า $\Re_a$ เป็นความต้านที่ปรากฏจากความต่างเฟส ถ้าความต่างเฟสใน S มีจำนวนใหญ่เกินไป และไม่เหมาะแล้ว ก็เป็นอันว่าไม่สามารถจะทำให้มีการกะตุ้นกำลังในตนเองได้ ในเมื่อไม่ได้จัดทำวงจรให้สำแดงผลที่เหมาะส่วนกัน ทำงานดำรงอยู่ได้ เวลาโคจรของอิเลคทรอนที่กล่าวข้างต้นนี้เป็นปฏิภาคตรงข้ามกับสแควรูทของกาลังดันนี้ การที่จะทำให้เวลาโคจรของอิเลคทรอนลดน้อยลงนี้ จะต้องใช้กำลังดันไฟที่อาโนดกับหลอดขนาดเล็ก ๆ ด้วยกำลังดันสูงมากเท่าที่สามารถจะใช้ได้

เมื่อใช้วงจรของหลอดอย่างใดอย่างหนึ่ง เพื่อสำหรับทำการวัดหาเส้นโค้งลักษณะก็ตาม ใช้สายต่อระหว่างกริดกับอาโนดเป็นเส้นลวดยาว และตามทางเดินของสายนั้นอยู่ใกล้กันเกินไป จนเป็นเหตุทำให้มีทางเดินสำหรับฟรีเควนซีสูงนี้ผ่านทางแคแปซิตีอันเกิดขึ้นโดยธรรมชาติระหว่างสาย หรือโดยแคแปซิตีในธรรมชาติของเครื่องใช้ในการวัดไฟฟ้าขนาดใหญ่ ๆ ต่อร่วมอยู่ณะที่นั้น หรือสิ่งอื่นที่ใช้ประกอบใน

การวัดอันสำแดงผลเป็นแคแปซิตีขึ้นดังกล่าวแล้ว ย่อมจะปรากฏอาการในวงจร ดังที่แสดงอยู่ในรูป ๒๓๗ ขึ้นในทางใช้การอยู่เนื่อง ๆ

คือเป็นอาการกะตุ้นกำลังในตนเอง ทำให้เกิดอาการกลอกบ่า ซึ่งภาษาเยอรมันเรียกว่า “ Wilde Schwingungen ” อันมีขนาดยาวคลื่นประมาณสองสามเมตร ซึ่งอาการกลอกบ่านี้ไม่เป็นสิ่งที่ปรารถนาเลยแม้แต่น้อย ในหลอดส่งขนาดใหญ่ที่มิได้คำนวณว่าใช้สำหรับคลื่นสั้นและมีขนาดแต่เพียงบาง ๆ มีที่ต่อสายเข้าสู่อิเลคโทรดที่คำนวณไว้สำหรับกระแสอิเลคทรอนอ่อน ๆ อาจจะชำรุดหรือเสียได้โดยกระแสไฟกลอกอันมีจำนวนใหญ่เป็น ๑ (=100) เท่าภายในเวลาเพียงสั้น ๆ จะอย่างไรก็ตาม การกลอกบ่าอันเป็นอาการที่ไม่ปรารถนาจะให้มันเป็นผู้ทำลายการทำงานของหลอดที่มีความจำนงจะให้ได้ผลอย่างเป็นอันมาก ดังอุทาหรณ์ที่จะยกให้เห็นได้ก็คือ การกลอกบ่านี้ทำลายผลในการทำกำลังของหลอดหรือทำลายการวัดหาเส้นโค้งลักษณะของหลอดให้ผิดแผกไปจากที่ควรจะเป็นตามปกติ อาการที่บังเกิดมีการกลอกบ่านี้ไม่อาจจะรู้ได้อยู่เนื่อง ๆ และยังผลในการทำให้เกิดมีเส้นโค้งลักษณะเป็นเส้นโค้งชะนิดไม่แท้ คือเป็นเส้นลักษณะที่ภาษาเยอรมันเรียกว่า “Pseudokennlinie” แทนที่จะได้รับเส้นลักษณะตามปกติ เครื่องหมายหรืออาการบอกว่ามีการกลอกบ่าชะนิดที่กล่าวนี้ปรากฏอยู่อย่างแน่นอนนั้นคือ เมื่อเข็มเครื่องวัดต่าง ๆ ในการวัดหาเส้นโค้งลักษณะชี้แกว่งไปแกว่งมาไม่อยู่คงที่ ในเมื่อผู้หนึ่งผู้ใดเอามือเข้าไปใกล้หลอด หรือเข้าไปใกล้ส่วนประกอบของวงจรส่วนใดส่วนหนึ่ง

และเอามือออกห่างไป โดยมิได้สัมผัสส่วนที่เป็นตัวนำไฟฟ้าเลย ทั้งนี้เป็นด้วยอิทธิพลของแคแปซิตี ซึ่งบังเกิดขึ้นฉะเพาะในเมื่อมีกำลังดันไฟฟรีเควนซีสูงอย่างแรงปรากฏขึ้นเท่านั้น

การที่จะกำจัดอาการกลอกบ่าให้หมดสิ้นไปนี้ สามารถทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงที่ต่อสาย เข้าหลอดแต่เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ก็ทำได้บ่อย ๆ แต่ที่จะให้ดีแท้แล้วควรจะต้องใช้เส้นลวดต่อระหว่างกริดกับคาโทดผ่านทางคอนเดนเซอร์ตัวเล็กให้มีระยะสั้นที่สุดที่จะสั้นได้ คือสำหรับคลื่นสั้นนั้นนับว่าเป็นการพอเพียงสำหรับเป็นทางลัดวงจรได้ด้วย การที่ทำเช่นนี้เองจึงสามารถขัดขวางการบังเกิดจากการกะตุ้นกำลังในตนเองอันจำเป็นต้องมีกำลังดันไฟสลับนั้นเสียได้ และค่าของแฟคเตอร์การถ่ายกำลังป้อนกลับ $\mathfrak{F}$ ก็เล็กลง วิธีนับว่าดีกว่าและแน่นอนกว่าที่กล่าวแล้วอีกอย่างหนึ่งคือ ต่อเอาความต้านชะนิดที่ปราศจากอาการแคแปซิตีในตนเอง อันมีความต้านประมาณสองสามร้อยโอมเข้าโดยตรงที่ ๆ ต่อสายต่อขั้วหลอดตรงอาโนดหรือตรงกริด สำหรับเส้นลวดต่อสายที่ยาวจาก 10 ถึง 20 ซม. นั้นสามารถจะทำให้การสำแดงผลในคุณสมบัติของความต้านหมดอำนาจไป สำหรับการกลอกบ่าด้วยจังหวะฟรีเควนซีสูงอย่างหนึ่ง สำหรับแคแปซิตีสำแดงผลในหลอดอีกอย่างหนึ่ง ความต้านเหล่านี้วางอยู่ในวงจรกลอก จึงถูกกระแสไฟกำลังแรง $\mathfrak{F}_L = \mathfrak{F}\,\mathfrak{F}_a$ ไหลผ่าน เพราะฉะนั้นจึงมีการเสื่อมกำลังของกระแสไฟไปในนี้อย่างแรง สำหรับการกลอกที่ตั้งใจให้เกิดด้วยอาการช้าลง ซึ่งเป็นการกลอกที่ได้รับอิทธิพล โดยแคแปซิตีภายในหลอดแต่

เพียงส่วนน้อยแล้ว หลอดนั้นก็จะมีกระแสไฟอิเลคทรอน $\Im_a$ และ $\Im_g$ ตามลำดับนี้แต่เพียงอ่อน ๆ ฉะนั้นความต้านที่ทำให้เสื่อมกำลัง (Damping resistances) ที่มีขนาดเล็กอันเทียบส่วนกับความต้านขนาดใหญ่ของวงจรแล้ว จะสำแดงผลแต่เพียงนิดหน่อยเท่านั้น ในเมื่อมีความจำเป็นก็อาจจะต่อขดลวดโช๊คขนาดเล็กขนานพ่วงเข้ากับความต้าน ซึ่งจะเป็นทางสำหรับให้แต่เพียงกระแสไฟตรงและกระแสไฟฟรีเควนซี่ต่ำเท่านั้นที่จะเดินผ่านได้ดีกว่าความต้าน แต่กระแสไฟสำหรับกวรกลอกบ่าด้วยฟรีเควนซี่สูงนั้นไม่ยอมให้เดินผ่านไป ขดลวดโช๊คแต่อย่างเดียวที่ไม่มีความต้านต่อขนานเป็นพวงรวมกันอยู่ด้วยนี้ นับว่าเป็นสิ่งที่อันตรายอย่างยิ่ง ทั้งนี้เนื่องจากในระหว่างวงขดลวดในขดลวดโช๊คเกิดมีแคแปซิตีตามธรรมชาติขึ้น และส่วนมากพอที่จะกะตุ้นให้เกิดการกลอกบ่า แทนที่จะทำหน้าที่เป็นขดลวดโช๊คสำหรับปิดหรือกั้นทางไหลของกระแสไฟฟรีเควนซี่สูง

