หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

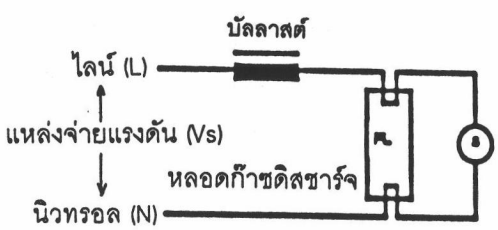
บทที่ 2

พื้นฐานวงจรหลอดฟลูออเรสเซนต์และทฤษฎีการทำงาน

บทนี้จะมีเนื้อหาแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกกล่าวถึงว่าบัลลาสต์ใช้ทำหน้าที่อะไร ทำไมจึงจำเป็นที่จะต้องมีบัลลาสต์ในวงจรหลอดฟลูออเรสเซนต์ ในส่วนที่สองจะกล่าวถึงหลักการในการจุดหลอดฟลูออเรสเซนต์ (ซึ่งเป็นหลอดก๊าซดิสชาร์จแบบหนึ่ง)

หน้าที่ของบัลลาสต์ (ALR ,1993)

การเปล่งแสงสว่างของหลอดไฟฟ้าโดยส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสที่ไหลผ่านหลอด เช่น หลอดอินแคนเดสเซนต์ (incandescent) หรือหลอดไส้ ก็อาศัยความยาวของไส้หลอดเป็นตัวจำกัดกระแสที่ไหลผ่านหลอด กระแสที่ไหลผ่านหลอดจึงควบคุมได้ด้วยค่าความต้านทานของไส้หลอด แต่สำหรับหลอดก๊าซดิสชาร์จ (gas discharge lamp) ที่ใช้หลักการเปล่งแสงสว่างจากการอาร์ก เช่น หลอดฟลูออเรสเซนต์นั้นจะอาศัยลำอาร์กเป็นทางนำไฟฟ้า จึงจำเป็นที่จะต้องมีอุปกรณ์เพิ่มเติม เพื่อใช้ช่วยเริ่มจุดอาร์กและช่วยจำกัดกระแสที่ไหลผ่านหลอดในลำอาร์กนั้น อุปกรณ์ที่ใช้ทำหน้าที่นี้ก็คือบัลลาสต์ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่จำเป็นต่อการทำงานของหลอดก๊าซดิสชาร์จมาก เพราะก่อนที่หลอดก๊าซดิสชาร์จจะจุดติดได้นั้น หลอดจะมีอิมพีแดนซ์ค่าสูงมากในช่วงแรก จึงต้องอาศัยแรงดันค่าสูงในการจุดหลอด บัลลาสต์จะเป็นอุปกรณ์แบบอินดักทีฟ (inductive) , คาปาซิทีฟ (capacitive) หรือ รีซีสทีฟ (resistive) ก็ได้



รูปที่ 2.1 วงจรบัลลาสต์แมกเนติก(แบบพรีฮีต)ทั่วไป

รูปที่ 2.1 แสดงวงจรหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้บัลลาสต์แมกเนติก บัลลาสต์แมกเนติกจะมีอิมพีแดนซ์เป็นแบบอินดักทีฟ เพื่อให้เกิดแรงดันทรานเซียนต์ค่าสูงไปจุดหลอดในช่วงแรก ก่อให้เกิดการอาร์กระหว่างไส้หลอด จนหลอดจุดติด(เกิดการดิสชาร์จ)แล้ว อิมพีแดนซ์ของหลอดจะมีค่าลดต่ำลง (โดยที่คุณสมบัติความต้านทานพลวัต(dynamic resistance)ของ หลอดมีค่าเป็นลบ) ถ้าหากไม่มีการจำกัด

กระแส ก็จะมีปริมาณกระแสไหลผ่านหลอดมากเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ทำให้ไส้หลอดเสียหายได้ บัลลาสต์แบบอินดักทีฟที่ต่ออนุกรมกับแหล่งจ่ายแรงดัน ดังรูปที่ 2.1 ทำให้อิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่ายมีค่าสูงขึ้น และทำให้แหล่งจ่ายทำงานเสมือนแหล่งจ่ายกระแส ดังนั้นวงจรจึงสามารถจำกัดค่ากระแสที่ไหลผ่านหลอดได้ เราอาจสรุปหน้าที่ของบัลลาสต์ได้ดังต่อไปนี้ คือ

1. ให้แรงดันที่เหมาะสมเพื่อเริ่มจุดหลอดให้เกิดการอาร์กระหว่างอิเล็กโทรดทั้งสองของหลอดได้
2. จำกัดกระแสที่ไหลผ่านหลอดขณะหลอดทำงาน (จำกัดค่ากระแสอาร์ก) เพื่อให้หลอดเปล่งแสงสว่างอย่างสม่ำเสมอ และ หลอดมีอายุการใช้งานได้ยาวนาน

บัลลาสต์จะต้องทำงานตลอดเวลาที่หลอดก๊าซดิสชาร์จทำงาน บัลลาสต์มีโครงสร้างภายในได้หลายแบบ บัลลาสต์แบบแมกเนติกทั่วไปจะมีโครงสร้างเป็นโช้ก (choke) อย่างง่าย คือ ขดลวดทองแดงพันรอบแกนเหล็ก ส่วนบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มีองค์ประกอบที่สำคัญ ได้แก่ วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ต่ำให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง , วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ(ความถี่สูง หรือ ความถี่ต่ำยิ่ง) และโช้กแกนเฟอร์ไรต์ (ferrite)

วงจรหลอดฟลูออเรสเซนต์ได้รับความนิยมในการใช้อย่างแพร่หลายในการใช้งานแสงสว่างทั่วไป เพราะข้อดีคือ ให้ค่าประสิทธิผลการส่องสว่างสูงกว่าวงจรหลอดอินแคนเดสเซนต์ เช่น หลอด 36 วัตต์ให้ปริมาณแสง 2850 ลูเมน จึงมีค่าประสิทธิผลการส่องสว่าง 2850/36 = 80 ลูเมนต่อวัตต์ (ส่วนหลอดอินแคนเดสเซนต์ 75 วัตต์ให้ปริมาณแสง 1200 ลูเมน จึงมีค่าประสิทธิผลการส่องสว่าง 1200/75 = 16 ลูเมนต่อวัตต์) อย่างไรก็ตาม วงจรหลอดฟลูออเรสเซนต์ก็มีข้อเสียสำคัญ 3 ประการ คือ

1. ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งวงจรสูงกว่าวงจรหลอดอินแคนเดสเซนต์ (ค่าหลอด ค่าบัลลาสต์ ค่าสตาร์ตเตอร์ ค่าโคม)
2. เปล่งแสงที่ค่าความยาวคลื่นเพียงบางค่าเท่านั้น
3. หลอดมีความยาวมากกว่าหลอดอินแคนเดสเซนต์

แต่จากข้อดีเรื่องการประหยัดพลังงานจึงทำให้มีผู้นิยมใช้วงจรหลอดฟลูออเรสเซนต์กันมาก จึงมีความพยายามที่จะออกแบบบัลลาสต์แบบใหม่ ๆ มากมาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (ALR , 1993) ที่สามารถเพิ่มค่าประสิทธิผลการส่องสว่างของหลอดฟลูออเรสเซนต์ได้สูงถึง 90 ลูเมนต่อวัตต์ ปัญหาสำคัญในการออกแบบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ มีประเด็นหลักอยู่ 2 ประการ คือ

ก. อะไรคือจุดทำงานที่เหมาะสมสำหรับหลอด ?

การออกแบบบัลลาสต์ จึงจำเป็นที่จะต้องศึกษาเก็บข้อมูล และทำความเข้าใจถึงลักษณะทางกายภาพของหลอด ลักษณะสมบัติของกระแส - แรงดัน ที่จำเป็นสำหรับหลอด ในการจุดหลอด ในการทำงานของหลอด และ ในการเปลี่ยนสถานะจากการจุดหลอดเป็นการทำงานของหลอด (ALR , 1990)

ข. ลักษณะด้านออกของวงจรบัลลาสต์ที่เหมาะสมควรเป็นอย่างไร ?

การออกแบบบัลลาสต์ จึงจำเป็นต้องทราบข้อมูลเกี่ยวกับ ค่ากระแส แรงดันที่เหมาะสม ว่าควรเป็นเท่าไร ต้องใช้แรงดันที่เหมาะสมเท่าไรในการเริ่มจุดหลอด และวงจรควรจ่ายแรงดันเท่าไร , จ่ายกำลังเท่าไร ให้หลอดขณะทำงาน

การจะออกแบบบัลลาสต์ที่ดีจึงจำเป็นจะต้องทราบถึง รายละเอียดและ ขั้นตอนการทำงานของหลอดโดยละเอียด

<u>การจุดหลอดก๊าซดิสชาร์จ</u>

กลไกในการจุดหลอดก๊าซดิสชาร์จมีความซับซ้อน (ซึ่งก็มีผู้ศึกษาไว้มากมาย เช่น บริษัท GE , Philips , Osram , Siemens แม้แต่ในปัจจุบันก็ยังไม่มีข้อมูลทุกด้านแจ้งชัดนัก จึงยังคงมีการศึกษากันอยู่) (ALR , 1990) เราพอจะแบ่งขั้นตอนการจุดหลอดได้ 4 ระยะ ดังที่แสดงในรูป 2.2

1. การเบรกดาวน์ (breakdown) ของก๊าซ
2. การโกลว์ (glow)
3. การเปลี่ยนจากโกลว์ไปสู่อาร์ก (transition to thermionic arc) หรือ จีทีเอ (GTA)
4. การอาร์ก (arc)

1. ระยะการเบรกดาวน์ของก๊าซ

หลอดก๊าซดิสชาร์จได้รับแรงดันสูงในการจุดหลอด พร้อมกับการป้อนแรงดันกระแสสลับจากบัลลาสต์ เกิดการแตกตัวของก๊าซที่ขั้วอิเล็กโทรด (electrode) หรือไส้หลอด เกิดประจุไอออนและอิเล็กตรอนอิสระ ซึ่งพอจะอธิบายได้ตามกฎของพาสเชน(Paschen's law) กล่าวง่าย ๆ คือ เริ่มแรกอิเล็กตรอนอิสระ 1 ตัว ทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระตัวที่ 2 และตัวอื่น ๆ เพิ่มตามมา กลายเป็นปรากฏการณ์ที่เรียกว่า การถล่มของอิเล็กตรอน (electron avalanche) โดยที่ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในปรากฏการณ์การถล่มเพิ่มสูงขึ้น จนถึงค่าวิกฤต เกิดการชนกันระหว่างไอออนมากพอ ก็จะเริ่มเกิดการเรืองแสงทำให้เปลี่ยนจากการเบรกดาวน์ เข้าสู่การโกลว์ (glow)

ระยะเวลาหลังจากที่หลอดได้รับแรงดันสูงในตอนเริ่มจุดหลอด จนถึงการแตกตัวของโมเลกุลของก๊าซ (ระยะเบรกดาวน์) ที่เรียกว่าเวลาล้าหลังการทลาย (breakdown lag time) จะนานเท่าใดนั้น ขึ้นกับลักษณะทางกายภาพของหลอด ไม่มีค่าคงที่ตายตัว แต่เป็นค่าในเชิงสถิติเพราะเกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์พื้นฐาน 2 ขั้นตอน คือ

ก. การกำเนิดอิเล็กตรอนอิสระตัวแรกในก๊าซภายในหลอด และ
ข. อัตราการเพิ่มความหนาแน่นของอิเล็กตรอน

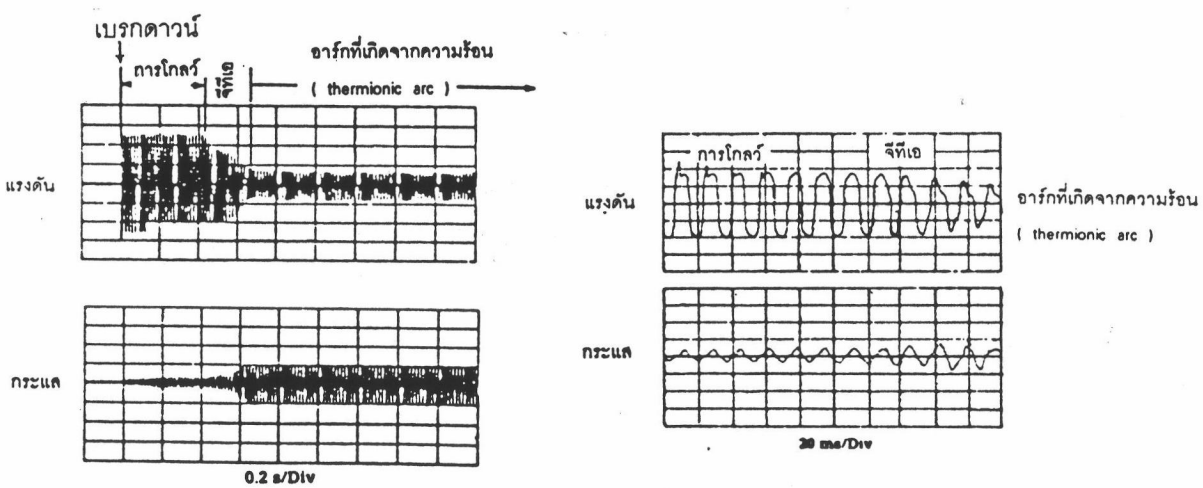
ดังนั้นช่วงเวลาล้าหลังการทลาย (breakdown lag time) จึงขึ้นกับองค์ประกอบ 2 ค่า คือ

1.1 เวลาล้าหลังเชิงสถิติ (statistical lag time) คือ ช่วงระยะเวลาที่ใช้ในการรอให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระตัวแรก (โดยปกติจะใช้เวลานานกว่าเวลาล้าหลังเมื่อเริ่มก่อตัว [formative lag time]) และมีการกระจายค่าทางสถิติกว้าง (wide distribution) คือในบางครั้งต้องใช้เวลานาน บางครั้งต้องใช้เวลานานมาก ในหลอดบางประเภทจะใช้เทคนิคการป้อนพลังงานกระตุ้นให้ไส้หลอด ให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระเร็วขึ้น โดยฉายแสง UV หรือ X-ray เพื่อให้เกิดปรากฏการณ์ปล่อยอิเล็กตรอนด้วยแสง[photoemission] ซึ่งต้องใช้พลังงานไม่ต่ำกว่า 4.6 eV สำหรับโลหะทังสเตนบริสุทธิ์ , 4.5 eV สำหรับ Hg , หรือ 2.7 eV สำหรับ Th-W (Fomenko V,1966) หรือใช้เทคนิคการอุ่นไส้หลอด จึงทำให้ระยะเวลาล้าหลังเชิงสถิติมีค่าสั้นลง (ความไม่บริสุทธิ์ของก๊าซภายในหลอด เช่น มี ก๊าซไฮโดรเจน , ไนโตรเจน , ไอน้ำเจือปนก็จะมีผลต่อการจุดหลอดด้วย)

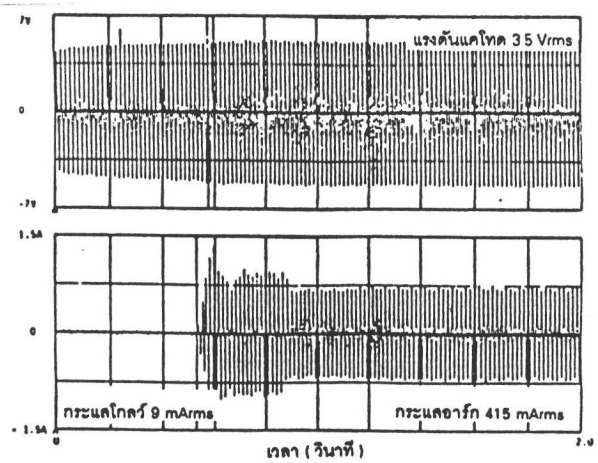
1.2 เวลาล้าหลังเมื่อเริ่มก่อตัว (formative lag time) คือ ช่วงระยะเวลาที่อิเล็กตรอนเพิ่มความหนาแน่นมากขึ้น มีค่าแปรตามชนิดของก๊าซที่บรรจุภายในหลอด โดยมีการกระจายค่าทางสถิติแคบมาก และสามารถเร่งค่าให้สั้นลงได้ โดยการป้อนแรงดันสูงมากขึ้น เช่น การใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ป้อนแรงดันสูงให้หลอด

2. ระยะการโกลว์

โมเลกุลของก๊าซแตกตัวเป็นอิเล็กตรอนกับไอออนบวก เกิดการเบรกดาวน์ ทำให้เกิดปรากฏการณ์การโกลว์ตามมา อธิบายได้ด้วยกฎของทาวน์เซนด์ (Townsend's law) พลังงานจากแหล่งจ่ายจะถ่ายทอดไปอยู่ในรูปของพลาสมา(plasma) ซึ่งทำให้ไส้หลอดร้อนเกิดการเรืองแสงเล็กน้อย ในระยะนี้ความต้านทานของหลอดยังมีค่าสูงอยู่ จึงทำให้มีแรงดันคร่อมหลอดค่าสูง แต่กระแสที่ไหลผ่านหลอดมีค่าต่ำ ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 2.2 แต่เมื่อไส้หลอดร้อนถึงอุณหภูมิปล่อยอิเล็กตรอนด้วยความร้อน (thermionic emitting temperature) ความต้านทานของหลอดจะลดลง เป็นการเปลี่ยนแปลงเข้าสู่ระยะการเปลี่ยนจากโกลว์ไปสู่อาร์ก (glow-to-thermionic arc transition หรือ GTA)

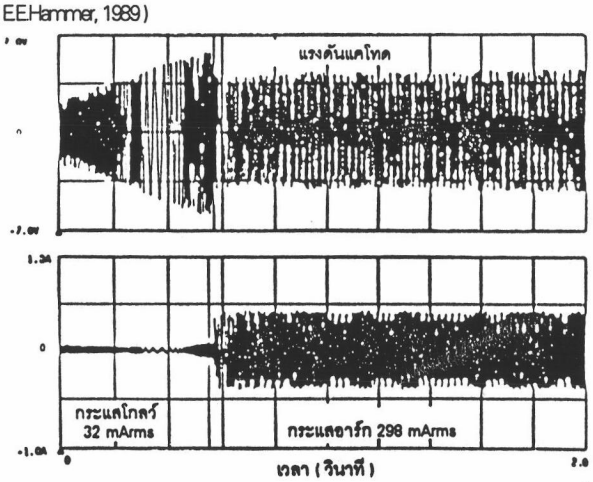


รูปที่ 2.2 รูปคลื่นกระแสและแรงดันในช่วงการจุดหลอดของหลอดก๊าซดิสชาร์จ แบบเมทัลฮาไลด์ 100 วัตต์ (GTE Laboratories Inc.,Waltham,MA,USA) แสดงขั้นตอนการจุดหลอด 4 ระยะ (รูปซ้าย สเกลเวลา 0.2 s/Div , รูปขวา สเกลเวลา 20 ms/Div)

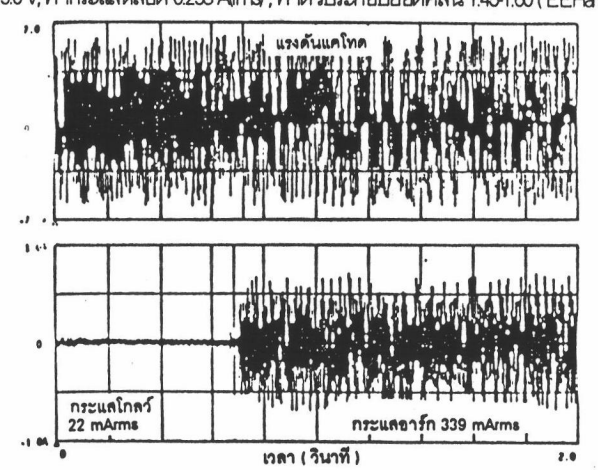


หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 2.3 การจุดหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบสตาร์ต RS 40 W ด้วยบัลลาสต์แมกเนติก กระแสโกลว์ในช่วง 529 ms เท่ากับ 9 mA(rms), ระยะการเปลี่ยนจากโกลว์ไปสู่อาร์ก 46 mS, ระยะเวลาการที่ขั้วเริ่มปล่อยประจุ(หลอดจุดติด) 575 mS (อยู่ในช่วง 500- 700mS) , ค่าแรงดันแคโทดฟอลล์ (ค่ายอด) เป็น 11.0 - 14.0 V, ค่าแรงดันแอโนดฟอลล์ เป็น 15.0 - 17.0 V , ค่ากระแสผ่านหลอด 0.415 A (rms) , ค่าตัวประกอบยอดคลื่น 1.70 (E.E.Hammer, 1989)



รูปที่ 2.4 การจุดหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบสตาร์ต RS 40 W ด้วยบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบไม่มอดูเลตยี่ห้อหนึ่ง ระยะเวลาที่ขั้วเริ่มปล่อยประจุ 200 ถึง 750 mS , กระแสโกลว์(อาร์เอ็มเอส)ระหว่างช่วงเวลาจุดหลอดเป็น 15-35 mA, ค่าแรงดันแคโทดฟอลล์(ค่ายอด) เป็น 11.0 - 12.5 V, ค่าแรงดันแอโนดฟอลล์เป็น 7.0-9.0 V, ค่ากระแสหลอด 0.298 A(rms) , ค่าตัวประกอบยอดคลื่น 1.45-1.60 (E.E.Hammer, 1989)



รูปที่ 2.5 การจุดหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบสตาร์ต RS 40 W ด้วยบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบมอดูเลตยี่ห้อหนึ่ง ระยะเวลาที่ขั้วเริ่มปล่อยประจุ 200-750 mS , กระแสโกลว์(rms)ระหว่างช่วงเวลาจุดหลอด เป็น 15-25 mA , ค่าแรงดันแคโทดฟอลล์(ค่ายอด)เป็น 16.0-18.0 V, ค่าแรงดันแอโนดฟอลล์ เป็น 9.0-12.5 V , ค่ากระแสหลอด 0.339 A(rms) , ค่าตัวประกอบยอดคลื่น 2.15 (E.E.Hammer, 1989)

3. ระยะการเปลี่ยนจากโกลว์ไปสู่การอาร์ก

ช่วงระยะเวลาที่ภาวะของหลอดฟลูออเรสเซนต์เปลี่ยนจาก การโกลว์ ไปสู่ การอาร์ก (arc) หรือที่เรียกสั้น ๆ ว่าระยะจีทีเอ (GTA) นั้น เป็นระยะที่วิกฤติและยากมากที่สุดในการออกแบบบัลลาสต์ เพราะจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแสและแรงดันที่หลอดมาก ดังเช่น รูปที่ 2.3 , 2.4 , 2.5 ได้แสดงตัวอย่างแรงดันคร่อมหลอดและกระแสในหลอดฟลูออเรสเซนต์ 40 วัตต์ระหว่างที่เปลี่ยนจากการโกลว์ไปสู่การอาร์ก ระยะจีทีเอนี้เกิดจากการที่หลอดได้รับกระแส และ แรงดันคร่อมหลอดที่เพียงพอ เมื่อไส้หลอดร้อนถึงจุดวิกฤตจะทำให้ความต้านทานหลอดลดลง กระแสที่ไหล ผ่านไส้หลอดจึงเพิ่มมากขึ้น ในขณะเดียวกันแรงดันคร่อมหลอดระหว่างขั้วทั้ง 2 ขั้วก็จะมีค่าลดลง พลังงานที่กระจายอยู่ในรูปของพลาสมาจะทำให้โมเลกุลของก๊าซภายในหลอดได้รับพลังงาน และเคลื่อนที่เร็วขึ้นภายในหลอด ส่งผลให้ความดันของพลาสมาเพิ่มขึ้น ซึ่งช่วยสนับสนุนให้เกิดการอาร์ก เมื่ออาร์กมีความเข้มมากขึ้นจนพอที่จะนำกระแสระหว่างขั้วหลอดทั้งสองด้านได้ ก็เป็นการเข้าสู่ระยะการอาร์ก ใน หลอดบางประเภทการทำงานที่ความถี่สูงจะทำให้หลอดมีค่าตัวประกอบกำลังใกล้เคียง 1 มาก หลอดจึงแสดงคุณสมบัติของตัวต้านทาน ที่ให้รูปคลื่นกระแส และแรงดันมีเฟสตรงกัน โดยจะมีผลของค่าความเหนี่ยวนำอยู่น้อยกว่าการทำงานที่ความถี่ต่ำมาก

4. ระยะการอาร์ก (arc , thermionic arc)

คือ ช่วงระยะเวลาที่กระแสไหลจากไส้หลอดด้านหนึ่งไปยังไส้หลอดอีกด้านหนึ่ง ส่งผลให้เกิดแสงจากการอาร์กที่เราต้องการ (จะเห็นว่าอัตราการเพิ่มปริมาณของแสงมีค่าสูงสุดในช่วงนี้) ซึ่งถือเป็นการสิ้นสุดขั้นตอนของการจุดหลอด เข้าสู่ระยะการทำงานของหลอด การอาร์กที่ความถี่ต่ำ (50 - 60 Hz) จะมีทิศทางการอาร์กในทางตรงระหว่างขั้วหลอด และ มีลำอาร์กเบี่ยงเบนโค้งขยายออกรอบแนวด้านข้างด้วย แต่ในหลอดที่ทำงานที่ความถี่สูง ลำอาร์กส่วนมากจะเป็นลำอาร์กในทางตรงระหว่างขั้วหลอด (ลำอาร์กเบี่ยงเบนโค้งออกด้านข้างมีน้อย) (E.Rasch , E.Statnic , 1991) เป็นเพราะอนุภาคภายในหลอดวิ่งถึงกันระหว่างขั้ว โดยมีแรงเทอร์โมไดนามิกจากกระแส และ แรงโน้มถ่วง มาขัดจังหวะน้อยลง อนุภาคจึงมีการเบี่ยงเบนไม่มาก ทำให้ลำอาร์กส่วนมากเป็นลำอาร์กในทางตรง จึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางแสงของหลอด คือ หากหลอดที่ทำงานที่ความถี่ต่ำ กับหลอดที่ทำงานที่ความถี่สูง ถ้าได้รับกำลังเท่ากันแล้ว หลอดที่ทำงานที่ความถี่สูงจะเปล่งแสงสว่างมากกว่า , อุณหภูมิที่ผนังหลอดจะต่ำกว่า และ อุณหภูมิสีของแสง (colour temperature) จะต่ำกว่า [อุณหภูมิสีของแสงมีค่าต่ำลง เพราะความหนาแน่นของลำอาร์กเปลี่ยนแปลงไปทำให้ การกระจายสเปกตรัมของแสง (spectral distribution) มีการเปลี่ยนแปลงไป] จึงทำให้การเห็นสีของแสง(colour rendering) จากหลอดที่ทำงานความถี่สูงดูดีขึ้นด้วย [โดยเฉพาะหลอดที่ไม่ได้มีการเคลือบสารฟอสเฟอร์ที่ผนังหลอดจะสังเกตเห็นได้ชัดเจน] ในรูปที่ 2.4 จะเห็นว่าระยะการอาร์กจากการใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบไม่มอดูเลต จะมีแรงดันคร่อมหลอดค่อนข้างคงที่เมื่อเทียบกับรูปที่ 2.5 จากการใช้บัลลาสต์แบบมอดูเลต ซึ่งแรงดันที่ค่อนข้างคงที่จะทำให้ปริมาณแสงค่อนข้างคงที่ และการสึกหรอของไส้หลอดค่อนข้างสม่ำเสมอ

<u>หมายเหตุ</u> การอาร์กระหว่างขั้วหลอดที่ความถี่ต่ำจะเป็นลำอาร์กใน ทางตรง ผสม ทางโค้ง ที่ความถี่สูงมากขึ้นลำอาร์กจะตรงมากขึ้น จึงเพิ่มประสิทธิผลการส่องสว่างของหลอดได้ แต่ไม่แน่เสมอไป เพราะ

ในหลอดก๊าซดิสชาร์จความเข้มสูงบางประเภท ที่ความถี่เรโซแนนซ์ของคลื่นเสียงภายในหลอดก็จะเกิดลำอาร์กโค้ง และแสงสว่างลดลงได้ ซึ่งปัจจุบันยังไม่สามารถหาทฤษฎีมาอธิบายตรงจุดนี้ได้ชัดเจนว่า ทำไมหลอดก๊าซดิสชาร์จความเข้มสูงบางประเภทจะมีการลดลงของแสงแต่หลอดฟลูออเรสเซนต์ไม่มีการลดลงของแสงจากการเรโซแนนซ์ของคลื่นเสียง ส่วนการทำงานที่แรงดันกระแสตรง หรือความถี่ต่ำยิ่งก็จะมีลำอาร์กตรงจึงอาจสามารถช่วยเพิ่มค่าประสิทธิผลแสงสว่างของหลอดได้เช่นกัน

จากกลไกในการจุดหลอด หากจะมองในภาพรวม ก็จะสามารถแบ่งการจุดหลอด ออกได้เป็น 2 แบบ คือ

ก. จุดติดยาก(hard mode) เป็น การจุดหลอดที่ใช้งานตามปกติ คือการจุดหลอดหลังจากที่หลอดจุดติดสว่างสมบูรณ์เต็มที่ แล้วปิดสวิตช์ไฟ ไม่ได้ใช้หลอดเป็นเวลานาน จนไส้หลอดเย็น ก๊าซภายในหลอดเย็นลงจึงมีการกระจายของการใช้เวลาในการจุดหลอดกว้าง (wide lag time distribution) และมีระยะเวลาเฉลี่ยใน การจุดหลอดนาน (long mean lag time) ช่วงระยะเวลาที่หลอดไม่ได้ทำงาน (จนเข้าสู่ อุณหภูมิห้อง) จะมีผลบ้างเล็กน้อยต่อระยะเวลาในการจุดหลอดครั้งต่อไป (ในทางปฏิบัติระยะเวลาที่หลอดฟลูออเรสเซนต์ไม่ทำงานนาน 10 นาทีก็ถือว่านานพอที่จะทำให้การจุดหลอดครั้งต่อไปเป็นการจุดหลอดแบบจุดติดยาก)

ข. จุดติดง่าย(easy mode) เช่น การจุดหลอดครั้งที่ 2 หลังจากจุดหลอดครั้งแรกไม่ติด หรือการจุดหลอดติดชั่วครู่แล้วดับหลอด เพื่อจะจุดใหม่ หรือ การเปิด-ปิดหลอดในการทดลอง จึงเป็นการจุดหลอดหลังจากที่เกิดการเบรกดาวน์หรือเกิดโกลว์ขึ้นในหลอด จึงทำให้มีประจุค้างอยู่ที่ผนังหลอดและความหนาแน่นของอิเล็กตรอนมีสูงกว่าการเริ่มจุดหลอดแบบจุดติดยาก จึงทำให้โอกาสความน่าจะเป็นในการเกิดอิเล็กตรอนอิสระตัวแรกมีได้ง่ายกว่า การจุดหลอดจึงทำได้เร็วกว่า , การกระจายของเวลาที่ใช้ในการจุดหลอดแคบ (narrow lag time distribution) , และระยะเวลาเฉลี่ยในการจุดหลอดจะสั้น (short mean lag time) (*หมายเหตุ* การจุดหลอดก๊าซดิสชาร์จความเข้มสูงใหม่อีกครั้ง จำเป็นต้องรอระยะเวลาหนึ่งเพื่อให้ไส้หลอดเย็นลงก่อน หากต้องการจุดหลอดทันทีโดยไส้หลอดยังร้อนอยู่ จะต้องใช้แรงดันในการจุดหลอดสูงมากขึ้น)

เราจะสังเกตเห็นความแตกต่างของเวลาที่ใช้ในการจุดหลอดทั้ง 2 แบบได้อย่างชัดเจน ในหลอดก๊าซดิสชาร์จความเข้มสูง แต่ในหลอดฟลูออเรสเซนต์อาจไม่สามารถสังเกตเห็นความแตกต่างเด่นชัดนัก

ดังนั้นพอจะสรุปข้อแตกต่างของการจุดหลอด ด้วยบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ที่ต่างจากการจุดหลอดด้วยบัลลาสต์ธรรมดา ได้เช่น

1. บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สามารถให้พลังงานจุดหลอดได้ต่อเนื่อง ดังนั้นการจุดหลอดด้วยบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ให้แรงดันสูงจึงไม่จำเป็นต้องมีมุมเฟสในการจุดหลอดคงที่(non-fixed phase angle)

2. สามารถออกแบบวงจรจุดหลอด ด้วยบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ได้หลายแบบ และสามารถจำกัดกระแสหากเกิดการผิดปกติที่หลอด เช่น ไส้หลอดขาดไป 1 ข้าง หรือเกิดปรากฏการณ์เรียงกระแส (rectification effect) (ALR , 1990)

3. การไม่มีตัวเหนี่ยวนำแกนเหล็ก ทำหน้าที่จำกัดกระแสและแรงดันเหมือนบัลลาสต์ธรรมดา ทำให้การออกแบบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ต้องยุ่งยากในการออกแบบในการควบคุมให้สามารถจำกัดกระแสและ แรงดันได้อย่างปลอดภัย

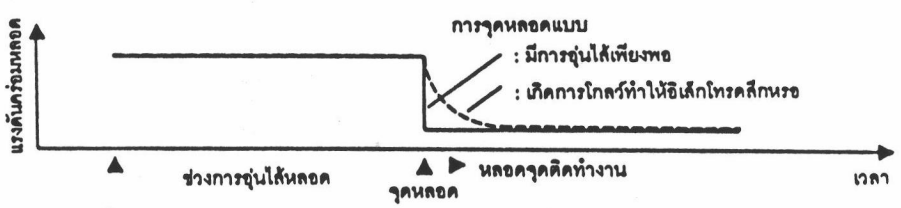
4. การจุดหลอดด้วยความถี่สูงมากยิ่งขึ้น จะต้องใช้แรงดันในการจุดหลอดสูงมากยิ่งขึ้น เพราะการใช้ความถี่ที่สูงขึ้น พลังงานในรูปคลื่นที่จะไปจุดหลอดทำให้เกิดการเบรกดาวน์จะมีค่าลดลง การทำให้มีพลังงานเท่าเดิมจึงต้องใช้แรงดันเพิ่มสูงขึ้น

การอุ่นไส้หลอด(พรีฮีต)ในการจุดหลอด จะต้องมีการควบคุมค่ากระแสอุ่นไส้(preheat current) แรงดันอุ่นไส้(preheat voltage) และระยะเวลาอุ่นรอ (preheating time) แรงดันที่ใช้จุดหลอดจะขึ้นกับลักษณะสมบัติของหลอด อุณหภูมิห้อง และการช่วยจุดหลอด (ถ้ามี)

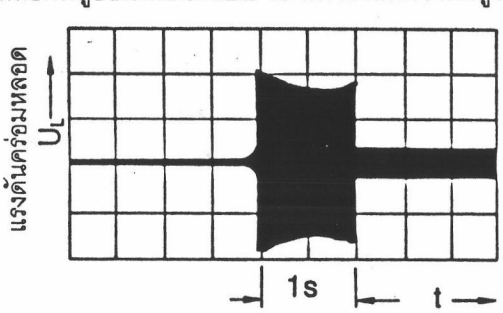
ก. การควบคุมกระแสอุ่นไส้ให้มีค่าพอเหมาะ เป็นระยะเวลานานเพียงพอ จนไส้หลอดร้อนถึงอุณหภูมิพอเหมาะ เมื่อป้อนแรงดันจุดหลอดที่เหมาะสมแล้วจะทำให้สามารถจุดหลอดติดได้ทันที โดยไม่ต้องจุดหลอดหลายครั้ง

ข. หากไส้หลอดมีอุณหภูมิเย็นเกินไป เมื่อจุดหลอด ก็จะเกิดการโกลว์ไม่สำเร็จเพราะมีการปล่อยอิเล็กตรอนเนื่องจากความร้อน (thermionic emission) จากไส้หลอดไม่มากพอ ซึ่งในช่วงขณะนี้อิเล็กตรอนที่ถูกปล่อยออกมาจากไส้หลอดก็จะชนกันเองและกระจัดกระจาย ส่งผลให้เกิดรอยดำรอบปลายหลอด (blackening effect) และทำให้หลอดมีอายุสั้นลง

ค. หากไส้หลอดมีอุณหภูมิสูงเกินไปก่อนที่จะเกิดการจุดหลอดก็จะส่งผลเสีย คือ ทำให้ไอของสารประกอบภายในหลอด และอนุภาคทังสเตนของไส้หลอดเกิดการระเหิดไปในอัตราที่สูง ส่งผลให้เกิดรอยดำรอบปลายหลอด และทำให้หลอดมีอายุสั้นลง เช่นกัน



รูปที่ 2.6 แรงดันคร่อมหลอดขณะจุดหลอด ตามมาตรฐานสากลสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบ T8 ที่ทำงานที่ความถี่สูง (A. Heidemann ,1993)



รูปที่ 2.7 ตัวอย่างแรงดันคร่อมหลอดขณะจุดหลอดของหลอดฟลูออเรสเซนต์ แบบ T 8 จากผลการทดสอบของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ยี่ห้อหนึ่ง (Elektronische Vorschaltgerate 93/94)

รูปที่ 2.6 แสดงค่าแรงดันคร่อมหลอดขณะจุดหลอด ตามสมาคมมาตรฐานและผู้ผลิตหลอด(A. Heidemann, 1993) ซึ่งได้กำหนดค่ากระแสอุ่นไส้ขั้นต่ำ (minimum cathode preheat current , I_{min}) สำหรับการอุ่นไส้ในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ (ซึ่งผู้ออกแบบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มีอิสระในการเลือกค่ากระแสอุ่นไส้และระยะเวลาอุ่นรอ ดังรูปตัวอย่างในรูปที่ 2.7) ได้จากสมการ

$$t_H = a\,(I_{min}^2 - I_{abs}^2)^{-1} \qquad (2.1)$$

หรือเขียนดัดแปลงใหม่ให้อยู่ในรูป $y = mx + c$ ได้เป็น

$$t_H I_{min}^2 = I_{abs}^2 t_H + a \qquad (2.2)$$

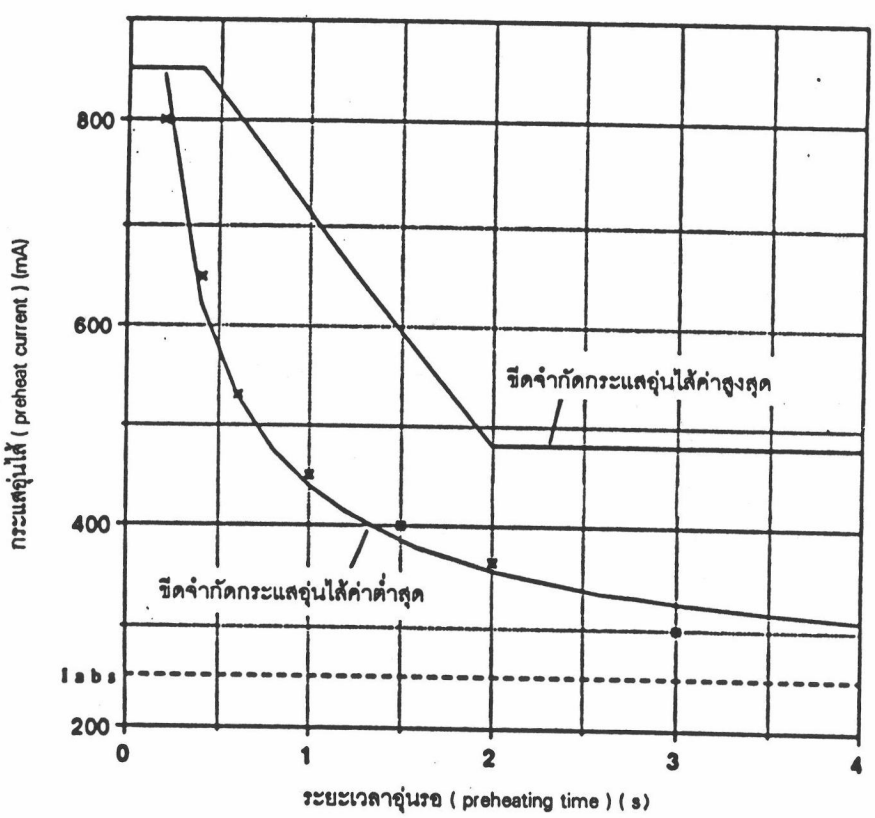
โดยที่

t_H = เวลาอุ่นรอค่าน้อยสุด (minimum preheat time)

I_{min} = กระแสอุ่นไส้แคโทดต่ำสุด (minimum cathode preheat current)

a = ค่าคงที่แคโทด (cathode constant) หาจาก ค่าจุดตัดแกน Y ของกราฟระหว่าง $t_H I_{min}^2$ กับ t_H(sec)

I_{abs} หรือ I_m = ค่ากระแสอุ่นไส้สัมบูรณ์ต่ำสุด (absolute minimum value of preheat current) หาจากค่าความชันของกราฟระหว่างระหว่าง $t_H I_{min}^2$ กับ t_H(sec) (กราฟจากผลการทดลองของหลอดแต่ละแบบ) ค่าคงที่ a และ I_{abs} จะเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ให้มีการจุดหลอดที่เหมาะสม มีค่ากระแสอุ่นไส้ที่พอเหมาะ ที่ทำให้หลอดมีอายุการใช้งานยาวนาน ไม่ทำให้ขั้วหลอดดำเร็ว ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.8 ที่แสดงขอบเขตของค่ากระแสอุ่นไส้ของหลอดฟลูออเรสเซนต์ 26 W ค่าที่เลือกควรให้อยู่ระหว่างขีดพิกัดสูงสุดกับขีดพิกัดต่ำสุด



รูปที่ 2.8 กราฟเพื่อใช้หาขอบเขตของค่ากระแสอุ่นไส้ของหลอดฟลูออเรสเซนต์ 26 W

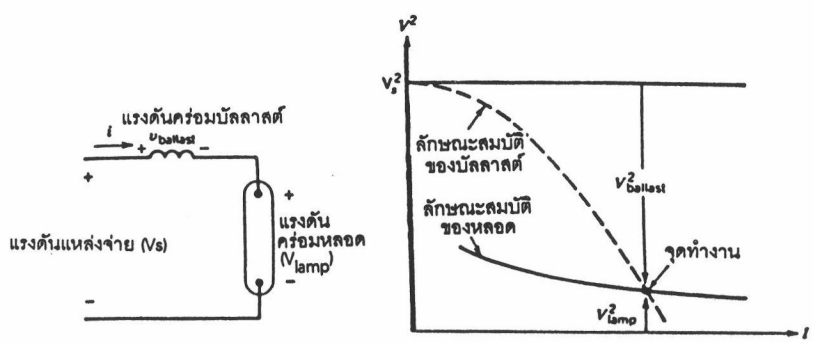
หากกระแสอุ่นไส้น้อยไปไส้หลอดจะมีอุณหภูมิสูงไม่มากพอที่จะทำให้เกิดโกลว์ดิสชาร์จ หากกระแสอุ่นไส้มากเกินไปทำให้ไส้หลอดร้อนมากเกินไป ทำให้ไส้หลอดระเหิด , ค่า Imin หาได้จากสมการข้างต้น , ค่า Imax หาจากช่วงการทำงานที่ธาตุแบเรียมที่ไส้หลอดระเหิดในปริมาณที่ปลอดภัย ส่วนค่ากระแสหลอด[operating current]ถูกจำกัดจากค่าอุณหภูมิจุดร้อนของแคโทด(cathode hot spot temperature) และ แรงดันเปลือกนอกของแคโทด (cathode sheath voltage) (A.Heidermann , 1993)

กล่าวโดยสรุป การออกแบบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ให้มีการจุดหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ดี ควรเป็นตามลักษณะ ดังต่อไปนี้

ก. ก่อนที่ไส้หลอดจะเกิดการโกลว์นั้น แรงดันเปิดวงจรที่คร่อมหลอดจะต้องมีค่าไม่สูงเกินไป มิฉะนั้นอาจเกิดการโกลว์ที่มากเกินไปเป็นอันตรายต่อไส้หลอดได้

ข. หลังจากที่เกิดการโกลว์ในหลอด และ มีอิเล็กตรอนถูกปลดปล่อยออกมาแล้ว แรงดันคร่อมหลอดก็ควรจะต้องมีค่าสูงพอเหมาะ คือ สูงมากเพียงพอให้หลอดติดสว่างอย่างรวดเร็ว โดยไม่ต้องจุดหลอดซ้ำ แต่ก็ต้องไม่สูงมาก เพราะแรงดันเปิดวงจรยิ่งมีค่าสูงมากเท่าไร ก็จะยิ่งมีกระแสจุดหลอดสูงมากขึ้น อันเป็นสาเหตุทำให้ขั้วหลอดดำเร็ว (ขั้วหลอดเสื่อม)

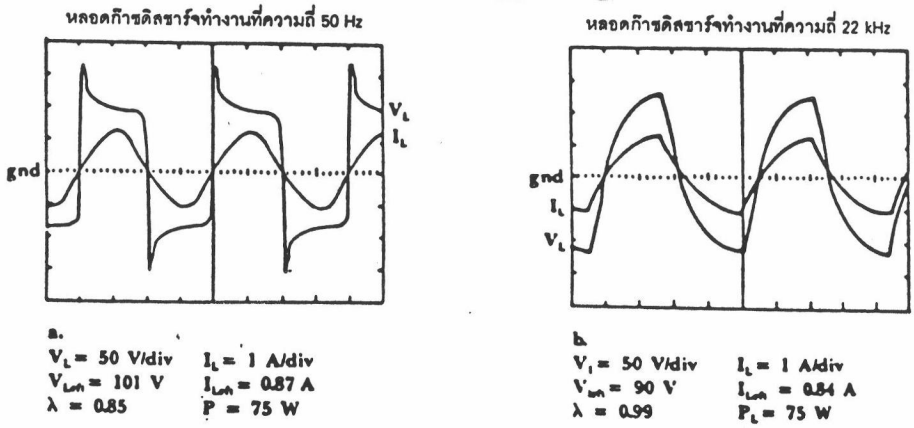
ค. กระแสอุ่นไส้ควรมีค่าพอเหมาะ เพื่อให้การจุดหลอดติดเร็ว จึงจะไม่ทำให้ขั้วหลอดดำ



รูปที่ 2.9 การเลือกจุดทำงานของวงจรหลอดฟลูออเรสเซนต์กับบัลลาสต์ โดยการใช้สมการ $V^2_{ballast} + V^2_{lamp} = V^2_s$ เพื่อหาจุดทำงานที่มีเสถียรภาพได้จากจุดตัดของกราฟ

ส่วนการหาจุดทำงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์ หาได้จากจุดตัดของกราฟลักษณะสมบัติของหลอด (V-I characteristic) กับกราฟเส้นโหลด(load line) ของบัลลาสต์ จากรูปที่ 2.9 เพราะการใช้ตัวเหนี่ยวนำเป็นตัวจำกัดกระแส จะทำให้ลักษณะของแหล่งจ่ายและบัลลาสต์เป็นแบบแหล่งจ่ายกระแส (current source) ส่วนหลอดซึ่งมีลักษณะที่แรงดันคร่อมหลอดค่อนข้างคงที่ โดยไม่ขึ้นกับกระแส จึงมีลักษณะเป็นแหล่งจ่ายแรงดัน (voltage source) [H.Houkes, 1993] การให้หลอดทำงานที่ความถี่ต่างกันก็จะเป็นการแปรเปลี่ยนค่าอิมพีแดนซ์ของหลอด และเปลี่ยนค่าแรงดันคร่อมหลอดโดยปริยาย แต่จากลักษณะของหลอด เช่น ถ้าหากแรงดันคร่อมหลอด หรือ อิมพีแดนซ์ของหลอดเพิ่มขึ้น 2

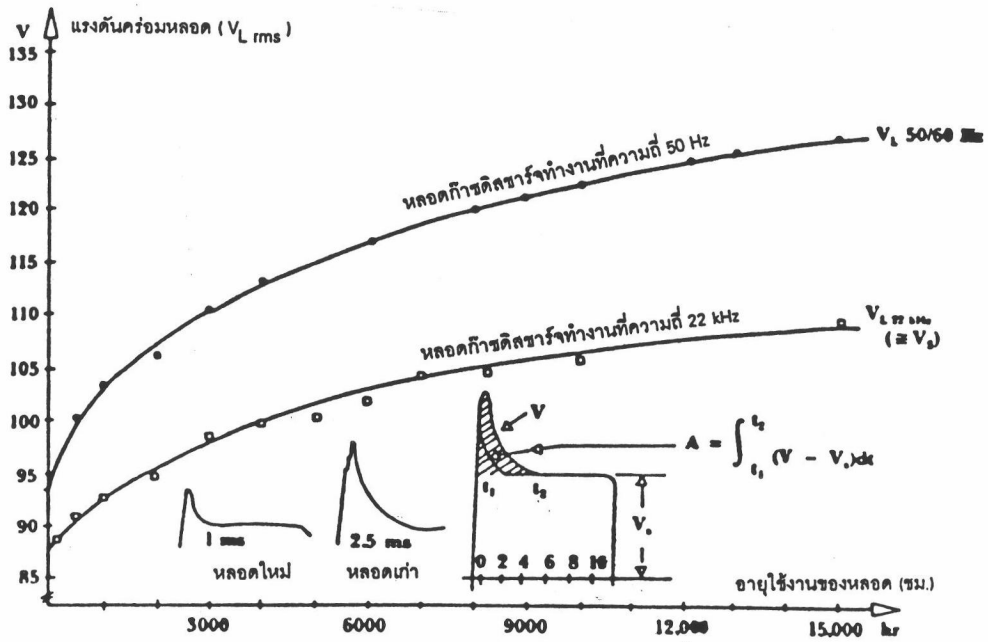
เท่า จะทำให้กระแสผ่านหลอดลดลงเพียงประมาณ 10 % เท่านั้น (J.J.de Groot , 1994) และที่ความถี่สูง ลักษณะของหลอดจะแสดงคุณสมบัติคล้ายตัวต้านทาน (ที่ความถี่ค่าสูง ในช่วงความถี่ช่วงหนึ่ง) ดังแสดงในรูปที่ 2.10 (ก) จะเห็นว่าการใช้บัลลาสต์แมกเนติกจะมีช่วงแรงดัน 2 ช่วง ช่วงที่เป็นพัลส์แรงดันค่าสูงพัลส์แรกจะเรียกว่าแรงดันจุดหลอด (ignition voltage) ส่วนพัลส์ต่อ ๆ ไปจะเรียกว่าแรงดันจุดซ้ำ (re-ignition voltage) และช่วงที่แรงดันค่อนข้างคงที่ซึ่งเรียกว่า แรงดันแซดเดิล (saddle voltage) โดยที่ความถี่ต่ำค่าแรงดันคร่อมหลอดจะมีรูปคลื่นไม่เหมือนกระแสผ่านหลอด แต่การใช้บัลลาสต์ความถี่สูงสามารถทำให้ค่ากระแสผ่านหลอดและแรงดันคร่อมหลอดมีรูปคลื่นเหมือนกัน (ค่าตัวประกอบกำลังของหลอดมีค่าใกล้ 1)



(ก) (ข)

รูปที่ 2.10 รูปคลื่นแรงดันคร่อมหลอดและกระแสผ่านหลอดก๊าซดิสชาร์จจากการใช้บัลลาสต์แมกเนติก (ความถี่ 50 Hz) [ก] เปรียบเทียบกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ความถี่สูง(ความถี่ 22 kHz) [ข]

กำลังที่หลอดต้องการใช้ในการส่องสว่างนั้น ประมาณได้ว่ามีค่าแปรตามความยาวของหลอด (ความยาวของการอาร์ก) ดังนั้นเราจึงสามารถประมาณกำลังของหลอดได้จากความยาวของหลอด และจากรูปที่ 2.10 จะสังเกตเห็นว่ารูปคลื่นแรงดันคร่อมหลอดก๊าซดิสชาร์จที่ทำงานที่ความถี่ต่ำจะมียอดแหลมของรูปคลื่นที่เรียกว่าแรงดันจุดซ้ำ (re-ignition voltage) แต่จะไม่พบลักษณะนี้ในรูปคลื่นแรงดันคร่อมหลอดที่ทำงานที่ความถี่สูง เพราะการทำงานที่ความถี่สูงนั้นการอาร์กจะไม่ดับขณะเปลี่ยนทิศทางการไหลของกระแสทุกครึ่งคาบ จึงทำให้รูปคลื่นกระแสผ่านหลอดและแรงดันคร่อมหลอดมีรูปเหมือนกันแสดงว่า หลอดเปลี่ยนคุณสมบัติอิมพีแดนซ์แบบอินดักทีฟในการทำงานที่ความถี่ต่ำเป็นแบบรีซิสทีฟที่ความถี่สูง การไม่มีแรงดันจุดซ้ำทำให้การทำงานของหลอดไม่ขึ้นกับแรงดันคร่อมหลอด จึงทำให้ต้องใช้แรงดันคร่อมหลอด(อาร์เอ็มเอส)ค่าสูงเพิ่มมากขึ้น แต่ก็มีข้อดีคือช่วยยืดอายุหลอด หลอดที่ทำงานที่ความถี่สูงไม่เกิดการสึกหรอของไส้หลอดจากแรงดันจุดซ้ำ



รูปที่ 2.11 แรงดันจุดหลอด (และแรงดันจุดหลอดซ้ำ) จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อหลอดมีอายุการใช้งานเพิ่มขึ้น จากรูปคลื่นแรงดันคร่อมหลอดที่หลอดเก่ากับหลอดใหม่จะมีพื้นที่ต่างกันประมาณได้จากการอินทิเกรต กราฟเส้นบนจากการใช้บัลลาสต์ความถี่ต่ำ และกราฟเส้นล่างจากการใช้บัลลาสต์ความถี่สูง

ในรูปที่ 2.11 แสดงหลอดที่มีอายุการใช้งานนานมากขึ้นจะมีค่ายอดของแรงดันจุดหลอดเพิ่มสูงขึ้น และ ระยะเวลาในการจุดหลอดเพิ่มนานมากขึ้น ส่วนแรงดันแซดเดิลจะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเป็นเพราะไส้หลอดและก๊าซภายในหลอดเริ่มมีการเสื่อมสภาพลงไป ดังนั้นการใช้งานหลอดที่มีอายุการใช้งานนานมากขึ้นจะเกิดผล คือ

ก. หลอดทำงานที่ความถี่ปกติ 50/60 Hz

- ใช้แรงดันจุดหลอด(ignition voltage) เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากค่ายอดของแรงดันจุดหลอด (peak ignition voltage) เพิ่มสูงขึ้น และระยะเวลาจุดหลอด (ignition time) นานขึ้น
- ใช้แรงดันจุดซ้ำ(re-ignition voltage) เพิ่มสูงขึ้น
- ใช้แรงดันคร่อมหลอด(lamp voltage) เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากค่าแรงดันจุดซ้ำเพิ่มสูงขึ้นและจากแรงดันแซดเดิล(saddle voltage) เพิ่มสูงขึ้น

ข. หลอดทำงานที่ความถี่สูง

- ใช้แรงดันจุดหลอดเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากค่ายอดของแรงดันจุดหลอดเพิ่มสูงขึ้นและ ระยะเวลาจุดหลอดนานขึ้น
- (ไม่ต้องใช้แรงดันจุดซ้ำ)
- ใช้แรงดันคร่อมหลอดเพิ่มขึ้นจากค่าแรงดันแซดเดิลเพิ่มขึ้น

ค. หลอดทำงานที่ความถี่ต่ำยิ่ง

- ใช้แรงดันจุดหลอดเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากค่ายอดของแรงดันจุดหลอดเพิ่มสูงขึ้นและ ระยะเวลาจุดหลอดนานขึ้น
- ใช้แรงดันจุดซ้ำเพิ่มสูงขึ้น แต่มีจำนวนครั้งของการจุดหลอดซ้ำน้อยกว่าหลอดในข้อ ก.
- ใช้แรงดันคร่อมหลอดเพิ่มขึ้นจากค่าแรงดันแซดเดิลเพิ่มขึ้น

ดังนั้นการให้หลอดทำงานที่ความถี่สูง หรือ ความถี่ต่ำยิ่ง จะสามารถประหยัดพลังงานในช่วงการจุดหลอด และช่วงหลอดทำงานได้มากกว่าการใช้ความถี่ต่ำ 50 , 60 เฮิรตซ์

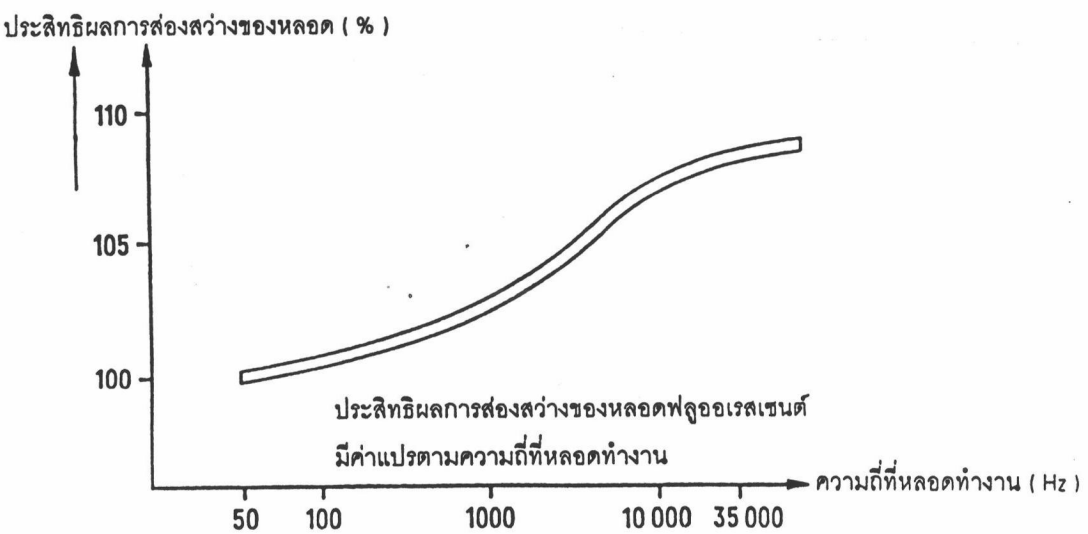
<u>การเลือกความถี่ในการทำงานของหลอดก๊าซดิสชาร์จ</u>

หากหลอดก๊าซดิสชาร์จทำงานที่ความถี่สูงจะได้ประโยชน์จากการเปลี่ยนแกนของบัลลาสต์จากแกนเหล็กมาเป็นแกนเฟอร์ไรต์ที่มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบากว่า ทำให้ใช้โช้กที่มีขนาดเล็กลง แต่ก็ต้องเพิ่มวงจรแปลงแรงดันกระแสสลับความถี่ต่ำให้เป็นแรงดันกระแสสลับความถี่สูง การเลือกใช้ความถี่ในการทำงานของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบความถี่สูงจำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายด้าน เช่น การป้องกันการรบกวน การซีลด์ และ คำนึงถึงความถี่ในการทำงานของอุปกรณ์อื่นด้วย เพราะบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ก็เป็นสินค้าอุปโภคชนิดหนึ่ง การเลือกความถี่ในการทำงานสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ มีเกณฑ์ คือ

1. หากเลือกใช้ความถี่ยิ่งต่ำก็จะมีผลดี ทำให้การรบกวนเนื่องจากผลของฮาร์มอนิก มีผลลดน้อยลง แต่ขนาดของอุปกรณ์จะมีขนาดใหญ่กว่าการใช้ความถี่สูง

2. ความถี่ควรสูงกว่า 10 kHz เพราะหลอดจะมีประสิทธิผลการส่องสว่างเพิ่มสูงขึ้นประมาณ 7 ถึง 10 % ที่ความถี่สูงมากกว่า 10 kHz ดังแสดงในรูปที่ 2.12

3. ความถี่ควรสูงกว่า 18 kHz เพราะหากความถี่ต่ำกว่านี้ หูคนจะสามารถได้ยินได้จึงอาจสร้างความรำคาญได้ (โดยทั่วไป หูคนโดยเฉลี่ยจะสามารถได้ยินเสียงความถี่สูงสุดได้ประมาณ 15 kHz แต่ในเด็กเล็ก อาจสามารถได้ยินเสียงความถี่สูงขึ้น ถึง 18 kHz) ซึ่งโดยทั่วไปจะถือเกณฑ์ความถี่ขั้นต่ำที่ 20 kHz เพื่อหลีกเลี่ยงการได้ยินของคน



รูปที่ 2.12 การเพิ่มประสิทธิผลการส่องสว่างของหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ทำงานที่ความถี่ต่าง ๆ

(Siemens , 1982)

4. หากเลือกความถี่สูงมากขึ้น ความถี่ควรสูงมากกว่า 50 kHz เพราะอากาศจะสามารถดูดกลืนคลื่นเสียงได้เพิ่มมากขึ้น จึงเป็นผลดีที่ว่าจะทำให้การรบกวน RFI ลดลงอย่างรวดเร็ว

5. การที่สวิตช์ต้องทำงานที่ความถี่สูงมากขึ้นก็ส่งผลให้เกิดการสูญเสียพลังงานในช่วงการสวิตช์มากขึ้น

6. การเลือกใช้ความถี่สูงสุดได้เท่าไรนั้น ขึ้นกับขีดจำกัดด้านความเร็วของอุปกรณ์ เช่น แกนเฟอร์ไรต์ หรือ ทรานซิสเตอร์ที่สามารถทำงานที่ความถี่สูงก็ยังมีไม่มาก

7. การทำให้หลอดฟลูออเรสเซนต์ทำงานที่ความถี่สูงมากขึ้นนั้น ก็ไม่ได้ทำให้หลอดฟลูออเรสเซนต์ (ที่ใช้หลักการกระแสผ่านหลอด) มีค่าประสิทธิผลการส่องสว่างเพิ่มไปมากกว่า 10 % และการเพิ่มความถี่ให้สูงยิ่ง ๆ ขึ้นไปอีกก็ไม่ได้ช่วยลดขนาดของตัวเหนี่ยวนำลงมากนัก แต่จะทำให้การออกแบบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ และ การผลิตมีความยุ่งยากเพิ่มขึ้นมาก

8. ยิ่งความถี่สูงมากขึ้นเท่าไร ก็จะเกิดผลของฮาร์มอนิก ที่ 2 , ที่ 3 , ... ฯลฯ ยิ่งสูงมากขึ้นจึงเป็นผลเสีย ที่จะไปเพิ่มการรบกวนอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ ที่ทำงานที่ความถี่สูงในย่านเดียวกัน

9. ความถี่ที่ควรหลีกเลี่ยง ในช่วง 30 - 60 kHz เพราะคลื่นพาหะของรีโมตคอนโทรลส่วนมากใช้ความถี่ในช่วงย่านนี้ ได้แก่ ความถี่ 23 kHz , 25 kHz , 33 kHz , 35 kHz, 40 kHz , 55 kHz โดยความถี่ที่มีการใช้มากที่สุด คือ 40 kHz เพราะมีความยาวคลื่นสั้น การเลี้ยวเบนของคลื่นน้อยมาก การดูดกลืนคลื่นในอากาศพอประมาณ ลำคลื่นเป็นลำแคบมีทิศทางที่แน่นอน

10. ได้มีการศึกษาถึงผลของความถี่และคลื่นต่อชีววิทยาของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม [ALR,1991] กล่าวถึง ความถี่ที่บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ดีควรหลีกเลี่ยง อีกช่วงก็คือ 20 - 25 kHz เพราะหูของสุนัขจะสามารถได้ยินเสียงความถี่สูง และ มีความไวมากต่อความถี่สูงในช่วง 20 - 25 kHz จึงอาจสร้างความรำคาญให้แก่สุนัขได้

ดังนั้นความถี่ที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์ในปัจจุบัน จึงมีช่วงความถี่ที่เหมาะสมอยู่ในหลัก 10 kHz โดยทั่วไปความถี่ที่มีการใช้ในวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์อยู่ในช่วง 20 - 500 kHz แต่ที่นิยมใช้กันมากคือ ความถี่ในช่วง 20 - 70 kHz (ในวงจรบัลลาสต์รุ่นใหม่ อาจใช้ความถี่สูงถึง 14 MHz)

บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ความถี่สูงที่ทดลองสร้างขึ้น ได้เลือกใช้ความถี่ในการทำงานที่ความถี่ 50 kHz โดยเป็นบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ความถี่สูง ซึ่งไม่มีการมอดูเลตแรงดันออก (รูปคลื่นกระแสด้านออกเป็นความถี่สูงและไม่แปรตามความถี่ไฟฟ้ากำลัง)