

ĐỀ TÀI ỨNG DỤNG

INDUCTION SEALING
MACHINE

Hoàng Anh Hiệp

I. Đốt bằng từ tính hoạt động như thế nào?

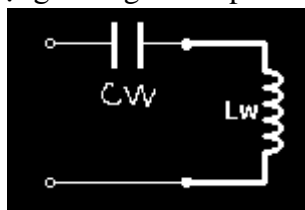
- Người ta sử dụng một nguồn điện tần số cao để điều khiển dòng điện đi qua một cuộn dây, cuộn dây này gọi là work coil.
- Dòng điện biến thiên liên tục trong work coil tạo ra từ trường biến thiên xung quanh nó. Vật cần được đốt nóng (workpiece) bị ảnh hưởng của từ trường đó và sinh ra dòng điện chạy trong nó.
- Có thể hiểu đơn giản nó giống như một máy biến áp, mà work coil chính là phần sơ cấp được cấp nguồn điện vào, workpiece chính là phần thứ cấp đã bị ngắn mạch, điều này tạo nên một dòng điện cực lớn chạy trong workpiece khiến chính nó nóng lên.
- Đây được gọi là hiện tượng eddy currents (hay còn gọi là Foucault currents).



- Mặt khác, tần số cao được sử dụng trong đốt từ tính gây ra hiện tượng khác là skin effect. Hiện tượng này làm cho 1 lượng lớn dòng điện sẽ chạy ở lớp vỏ mỏng bên ngoài của workpiece vì vậy năng lượng tập trung ở đây sẽ lớn và làm nóng workpiece một cách hiệu quả
- Đặc biệt đối với workpiece có tính sắt, từ trường biến thiên liên tục làm sắt trở nên từ hóa và mất từ hóa liên tục, làm các ion sắt trong vật thể ma sát với nhau và tạo ra nhiệt. Hiện tượng này gọi là Hysteresis loss, đây là một lợi thế cho việc nung nấu sắt thép. Nhưng lưu ý là sắt sẽ mất từ tính khi vượt quá nhiệt độ Curie (khoảng 700C), vì vậy sau khi vượt qua nhiệt độ này thì hiện tượng Hysteresis loss sẽ không còn nữa, mà lúc này sắt sẽ tiếp tục được làm nóng bởi dòng eddy.

II. Mạch cộng hưởng thực tế

1. Mạch cộng hưởng nối tiếp:

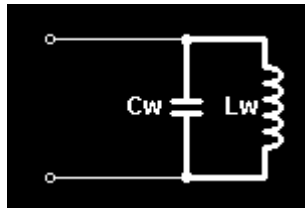


- Work coil được mắc nối tiếp với 1 tụ để làm việc ở 1 tần số cộng hưởng dự tính trước. Việc này sẽ làm dòng qua work coil thành hình sin. Mắc tụ nối tiếp với work coil sẽ làm tăng điện áp 2 đầu work coil lên quá mức của đầu ra inverter.

- Cấu trúc này thường được sử dụng trong các bếp từ, nồi cơm điện.. khi mà công suất của máy thực sự không lớn và inverter được đặt gần workpiece.
- Nhược điểm lớn nhất của mạch này đó chính là nó chỉ có 1 nhánh duy nhất, vì vậy toàn bộ dòng tải chạy qua work coil đều trở về inverter, đây là một gánh nặng cho việc thiết kế inverter. Mặt khác điện áp tăng lên đáng kể do tụ cộng hưởng sẽ gây nguy hiểm nếu như không có một workpiece có kích cỡ tương thích được đưa vào đốt nóng. Nhược điểm trên được giải quyết rất dễ dàng với nồi cơm điện vì workpiece của nó chỉ duy nhất có 1 cỡ nồi.

2. Mạch cộng hưởng song song:

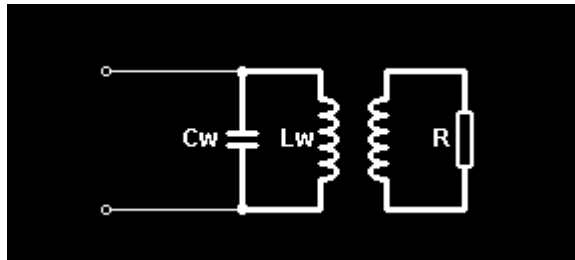
- Work coil được mắc song song với 1 tụ để làm việc ở 1 tần số cộng hưởng dự tính trước. Việc này sẽ làm dòng qua work coil thành hình sin. Mắc tụ song song với work coil sẽ làm tăng dòng điện 2 đầu work coil lên quá mức của đầu ra inverter.
- Tuy nhiên trong cấu trúc mạch này thì inverter không phải chịu toàn bộ dòng chạy trong workcoil cùng một lúc, mà chỉ chịu một lượng dòng thực sự tiêu tốn trên tải. Điều này làm giảm gánh nặng cho các thiết bị đóng ngắt trên inverter đồng thời giảm tiêu hao trên đường dây.



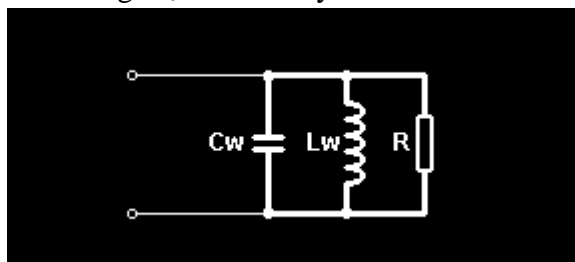
- Với cấu hình này thì work coil chỉ cần là cuộn dây đồng dây quấn vài vòng nhưng có thể chịu được dòng lên tới hàng trăm amp. Tải nhiệt bằng nước thường được dùng trong đây để hạn chế sự nóng lên trong cuộn dây khi phải chịu dòng tải cao.
- Trong mạch cộng hưởng song song, work coil có thể được coi như là 1 tải cảm với tụ bù công suất. Tụ bù này sẽ tạo nên dòng phản ứng cùng biên độ nhưng ngược chiều với dòng qua cuộn coil. Vì thế một lượng dòng chạy ra từ inverter thực tế chỉ để cung cấp cho tổn hao giữa tụ và cuộn dây.
- Mặt khác, luôn có một hao tổn nhỏ giữa tụ và cuộn dây mặc dù không có vật thể nào cần đốt nóng, vì vậy luôn có 1 dòng điện nhỏ cấp từ inverter cho work coil, và khi ta đưa workpiece vào thì dòng chạy ra inverter sẽ lớn dần theo.

III. Phối hợp trở kháng

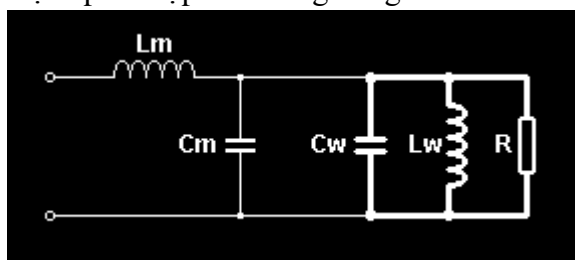
- Để đốt nóng một workpiece thì ta cần 1 dòng điện khá lớn chạy trên bề mặt của nó, tuy nhiên việc này lại gây khó khăn cho inverter đóng ngắt ở tần số cao. Inverter sẽ có xu hướng làm việc dễ hơn hoặc dễ thiết kế hơn nếu dòng tải nhỏ và điện áp đặt lớn. Tăng điện áp và giảm dòng tiêu thụ sẽ mở đường cho việc có thể sử dụng các loại Mosfet hoặc IGBT vào inverter. Đó là lý do ta cần phải có một mạch phối hợp trở kháng giữa inverter và work coil để chuyển đổi từ áp cao/dòng thấp từ inverter ra áp thấp/dòng cao cho work coil.



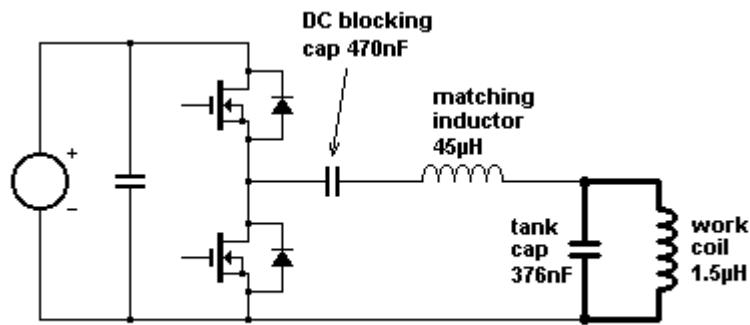
- Phía trên là mạch work coil cùng tụ cộng hưởng khi đang có vật đốt nóng đưa vào
- Ta có thể chuyển đổi toàn bộ tổn hao trong mạch trước thành 1 điện trở R duy nhất trong mạch dưới đây



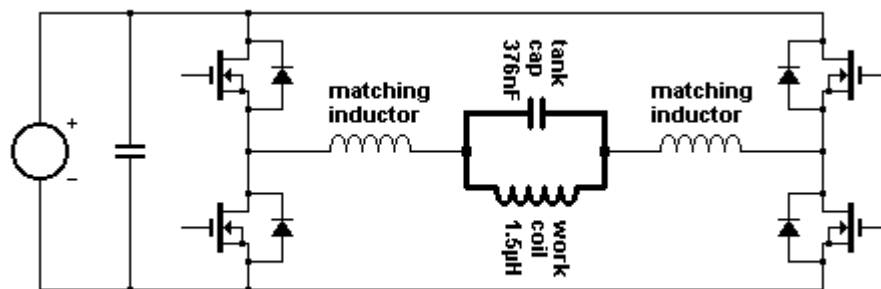
- Khi lái mạch ở tần số cộng hưởng thì dòng trên cuộn dây và tụ có cùng biên độ nhưng ngược pha nhau và vì vậy chúng triệt tiêu lẫn nhau. (lưu ý là khi lái mạch ở dải 2 bên của tần số cộng hưởng thì sẽ xuất hiện 1 dòng điện phản kháng tạo ra bởi sự triệt tiêu không hoàn toàn trên mạch LC, dòng điện này sẽ đóng góp thêm vào biên độ dòng của nguồn nhưng nó lại hoàn toàn không có ích gì cho việc đốt nóng vật thể.
- Công việc phối hợp trở kháng là để biến đổi trở kháng của mạch về một thông số mà inverter có thể điều khiển được. Có nhiều cách để làm việc này như dùng biến áp ferrit, mắc tụ đổi trị được cùng với tụ cộng hưởng, hoặc dùng cuộn L để phối hợp trở kháng.
- Mạch phối hợp trở kháng dùng L như sau:



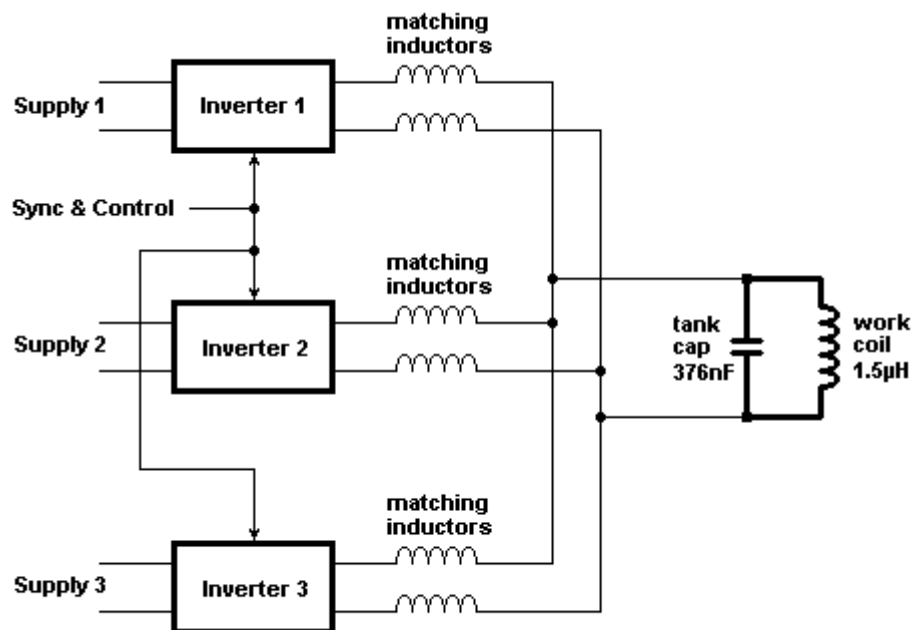
IV. Một số mạch lái cuộn LCLR



HALF BRIDGE INDUCTION HEATER USING "LCLR" WORK COIL



FULL BRIDGE INDUCTION HEATER USING "LCLR" WORK COIL



LCLR INDUCTION HEATER USING MULTIPLE DISTRIBUTED INVERTERS

V. Một số phương pháp kiểm soát công suất.

- Thay đổi nguồn DC
- Thay đổi duty cycle của xung ngõ ra inverter
- Thay đổi tần số ngõ ra inverter
- Thay đổi giá trị cảm kháng trong phần phối hợp trở kháng
- Phối hợp trở kháng sử dụng biến áp
- Phase-shift control of H-bridge

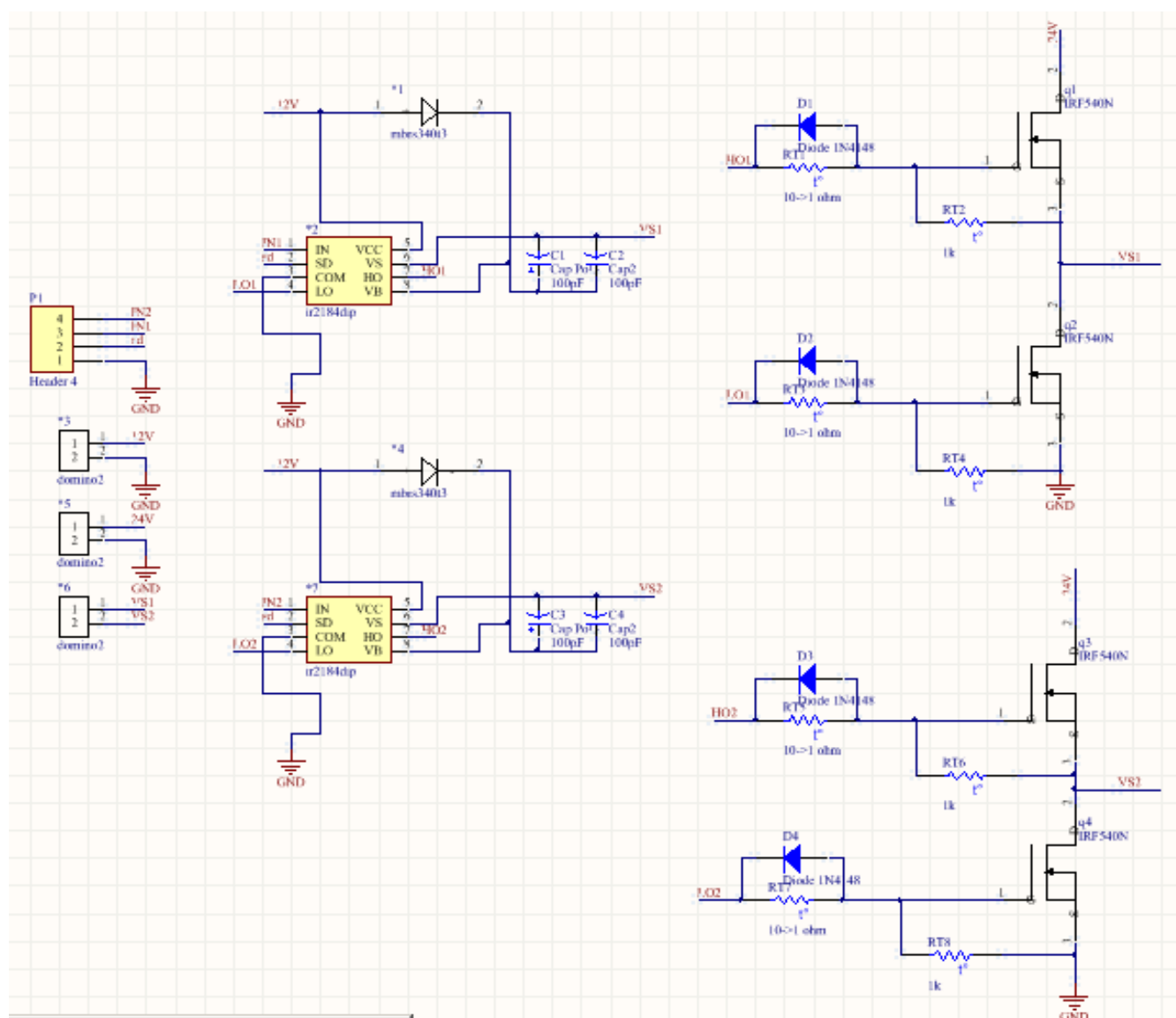
VI. Tài liệu tham khảo:

- <http://www.richieburnett.co.uk/indheat.html>
- http://webpages.charter.net/dawill/tmoranwms/Elec_IndHeat1.html
- <http://www.dynphys.com/index.php/2015-01-27-00-27-47/2015-01-28-00-26-12/parallel-lclr-circuit>

VII. Ứng dụng thực tiễn vào chế tạo

1. Thiết kế mạch cầu H

- Ban đầu dự định sử dụng driver ir2101 có chân kích ngõ vào Hin và Lin nhưng do khó khăn trong việc kích delay cho fet mà chủ yếu là do không thấy được dạng xung kích, về sau sử dụng luôn ir2184 có tích hợp sẵn delay giữa lần chuyển tiếp fet.
- Mạch cầu H sử dụng driver ir2184 và Mosfet irf540 hoặc irf3205



- Tụ bootstrap sử dụng là 1 tụ hóa 10uf và 1 tụ ceramic 104 và diode bootstrap sử dụng là schottky mbrs340t3.
- Mạch bootstrap cho ir2184 bao gồm 1 diode và 1 tụ bootstrap. Diode nên là loại có thời gian hồi phục nhanh và tụ bootstrap nếu sử dụng tụ electrolytic thì nên có 1 tụ ceramic thêm vào còn nếu là tụ Tantalum thì không cần.
- Giải thích về mạch bootstrap: Khi chân IN =0 thì chân Lo được kích, làm cho con fet dưới dẫn, Vs nổi xuống mass và tụ boot sẽ được nạp lên tới giá trị trên chân Vb. Khi IN=1 thì điện áp đã được nạp trên tụ sẽ được dùng để tạo chênh lệch áp giữa 2 cực G và S của con fet ở trên, lúc đó Vb sẽ được nối vào Ho. Tụ bootstrap nên được chọn có giá trị điện dung đủ lớn để cung cấp cho toàn bộ thời gian khi fet trên được kích, nhưng nó cũng không nên lớn quá vì thời gian nạp vào tụ sẽ chậm. Vì vậy nên tần số càng thấp thì giá trị tụ sẽ càng lớn và ngược lại.
- Các điện trở và diode ở cực G của mỗi mosfet dùng để điều chỉnh thời gian lên và xuống của fet.
- Điện trở thì có tác dụng hạn dòng ở cực gate lại. Vì giữa 2 cực G và S của fet có tính chất như 1 tụ điện, khi tụ nạp đầy thì fet đóng, và khi tụ xả hết thì fet mở. Điện trở ở cực gate sẽ làm dòng nạp vào tụ nhỏ lại và vì vậy fet sẽ đóng mở chậm hơn. Tại sao lại muốn đóng fet chậm hơn, vì khi chuyển mạch quá nhanh thì giữa 2 đầu bản cực sẽ sinh ra điện áp do quá độ khá lớn, có thể gấp đôi điện áp nguồn nên thường sẽ là fet chết đứng. Vậy sao không chọn điện trở này thật lớn, vì điện trở quá lớn khiến fet đóng chậm, mà trong thời gian lên đó thì fet chưa đóng hoàn toàn và bão hòa để đi đến trở kháng dẫn thấp nhất, trong lúc đó thì fet vẫn dẫn với trở kháng lớn sẽ làm fet nóng lên nhanh chóng và chết cháy. Vì vậy ở đây khuyến cáo sử dụng trở ở cực G trong khoảng từ 1->10 ohm
- Do thêm điện trở để làm fet đóng mạch nhanh hơn, nhưng ta lại muốn fet mở mạch càng nhanh càng tốt nên vì vậy phải thêm con diode ngược ngạo ở đó để dẫn dòng xả ra của tụ con fet khi nó mở.
- Còn điện trở giá trị 1k nối từ cực G sang cực S của mỗi con fet thực ra là để đảm bảo khi mình không kích cực G thì áp trên cực G sẽ bằng áp trên cực S, vì có 1 số trường hợp nhiễu gì gì đó làm cực G có 1 chút điện áp, khiến cho fet dẫn và làm nó cháy không rõ nguyên do.



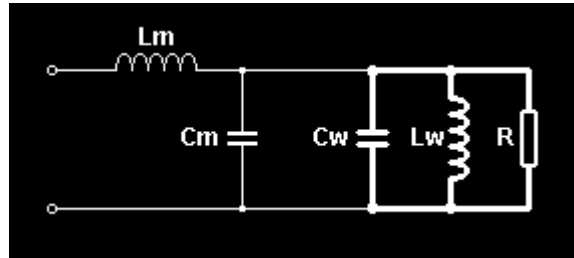
- Đây là hình dạng xung ngõ ra của cầu H, kênh 1 và 2 là xung ra của mỗi nửa cầu, và kênh H là 1-2.
- Ta có thể thấy rõ ràng lúc đóng mạch lúc nào điện áp cũng bị vọt lên 1 khúc khá cao (gấp ruồi áp kích) vì ở đây mạch này chỉ sử dụng trở ở cực gate có 1 ohm.

2. Thiết kế mạch cộng hưởng LC và L match

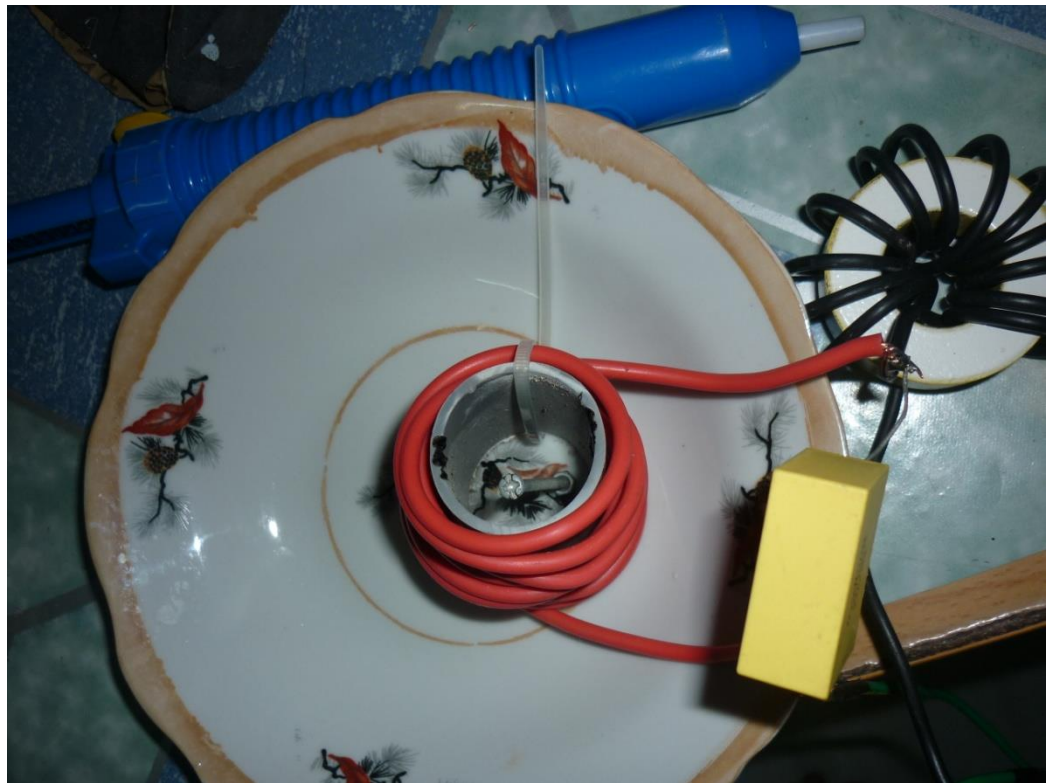
- Cuộn dây thì quấn hình thù tùy ý, nhưng lưu ý nếu quấn bằng ống đồng thì lúc sau sẽ khó đo độ tự cảm của nó, vì nó khá nhỏ (thường <2 uH)
- Quấn xong cuộn dây rồi thì lấy đồng hồ LCR ra đo độ tự cảm của cuộn dây, bước này không bắt buộc bởi vì cuộn dây nếu nhỏ quá thì sai số sẽ lớn, và dĩ nhiên nếu đo sai thì cũng chẳng sao vì thực chất ta đang ước lượng giá trị tầm giá trị của L để sau này ước lượng tần số cộng hưởng cho nó
- Đối với tụ cộng hưởng thì phải là loại tụ Metallized Polypropylene thông thường có nhãn ghi là MKP hay MPP trên tụ, còn ngoài chợ không biết gọi là gì. Đối với tụ thì khi làm thiết nên sử dụng loại tốt, vì khi chạy cộng hưởng dòng qua tụ rất lớn dẫn đến tụ nóng rất nhiều, sử dụng tụ “rởm” có khả năng cháy nổ rất cao. Chọn tụ chịu được áp cao, dòng cao, tần số cao.
- Còn đối với cuộn L match thì ra chợ hoặc đâu đó mua lõi ferrit để quấn dây vào, theo như tìm hiểu “ngoài chợ” thì có nhiều loại lõi, lõi có nhiều ferrit và lõi có ít ferrit, lõi nhiều ferrit thì quấn vài vòng dây thôi thì nó đã lên tới mH rồi, còn lõi ít ferrit thì quấn hết cả cuộn mới lên

nổi 100uH. Thứ tự màu theo độ ferrit tăng dần là vàng->xanh lá-> đỏ->đen. Cũng có công thức tính quán số vòng sẽ ra được độ từ cảm nhưng mà cảm đồng hồ LCR đo cho lẹ.

- Sau khi đã có đủ tất cả linh kiện trên thì mình nối theo mạch như vậy:



- Cái Cm dù gì cũng gộp vào Cw nên cho luôn 2 cái là 1, còn R là tải khi chạy, Lw là cuộn coil quán, và Lm là L match.
- Sau khi nối xong hết sẽ ra cái đĩa như vậy: (nhớ chèn đĩa hoặc gạch đá gì dưới nếu không nó cháy bàn)



- Còn bước cuối cùng của khâu này là tính tần số cộng hưởng của mạch song song:

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

- Với LC là Lw và Cw đã đo ở trên.

3. Mô phỏng trên Matlab để giảm thiệt hại

- Sử dụng file simulink của matlab kèm theo để mô phỏng và xem trước đáp ứng dòng và áp của mạch để tránh tình trạng không lường trước được gây ra cháy nổ mạch.

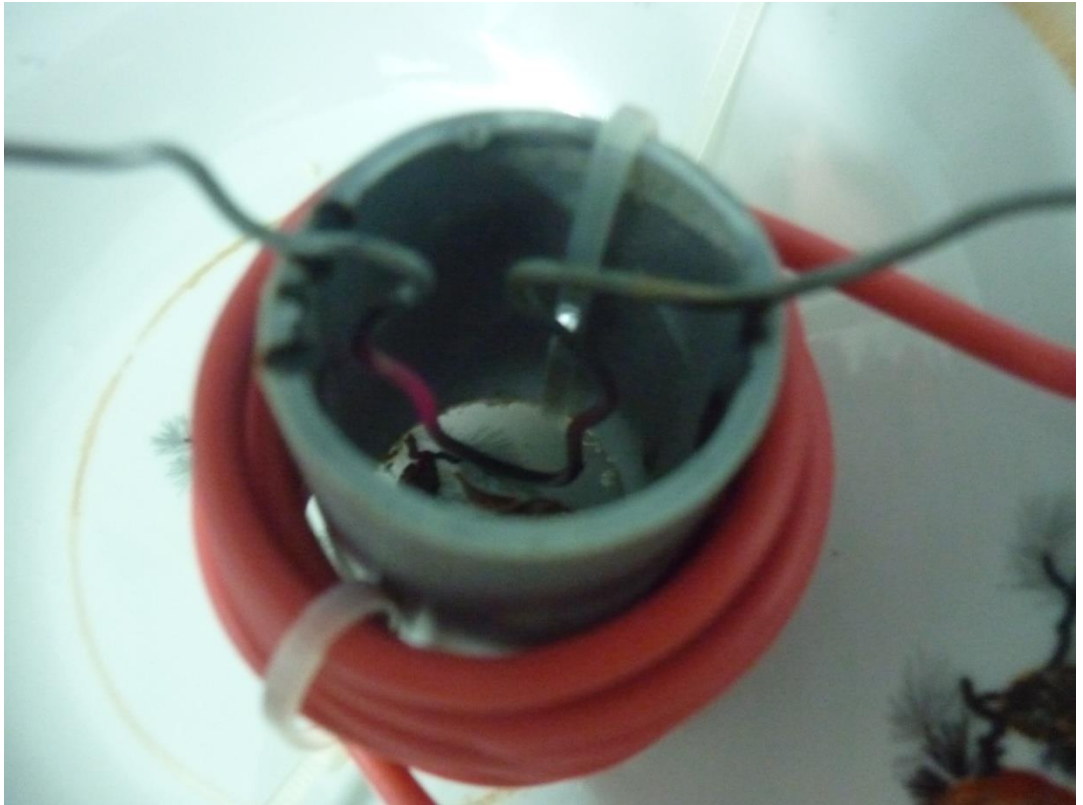
- Lần lượt nhập các thông số của LC vào, các giá trị R trong đó là Rđây, có thể đo trực tiếp thực tế rồi nhập vào.
- Sau đó cho thay đổi tần số kích cho con fet, nó sẽ gần bằng tần số cộng hưởng mà mình tính được.
- Xem đáp ứng dòng áp trên mạch từ đó ta có thể chỉnh lại giá trị cuộn Lmatch để hạn chế dòng đi vào mạch cho phù hợp với công suất của nguồn, Lmatch phải chọn sao cho dòng điện tổng là nhỏ nhất mà không ảnh hưởng đến mạch cộng hưởng LC phí sau

4. Tiến hành chạy thực tiễn

- Khi chạy lần đầu không cháy nổ gì đã là 1 thành công rồi.
- Nếu như vật đặt bên trong không nóng lên thì chắc chắn tần số cộng hưởng của mình đã sai khá nhiều nên cần chỉnh lại như sau: (khuyến cáo khi tìm tần số cộng hưởng nên chạy ở điện áp thấp <24V, tốt nhất là 12V để tránh những trường hợp đáng tiếc xảy ra, khi đã có tần số cộng hưởng rồi ta sẽ cấp lại nguồn có giá trị lớn)
 - Phương pháp thứ nhất: ta tăng tần số kích lên hoặc giảm tần số kích xuống khoảng từ 0.5-1kHz sau đó đo điện áp AC giữa 2 đầu của cuộn coil, nếu điện áp này tăng thì ta đã đi đúng hướng, tiếp tục tăng hoặc giảm tần số theo hướng đó đến khi ta thấy điện áp giảm thì tần số trước đó là tần số cộng hưởng. Lưu ý là phương pháp này dễ gây ngúm mạch cầu vì ta đâm chọt kim VOM vào mạch hoài gây ra hiện tượng nhiễu, hồ quang điện gì đó... làm chết fet.
 - Phương pháp thứ hai: cũng làm như trên nhưng sử dụng ampe kim đo dòng trên toàn mạch và trên nhánh cuộn coil, phương pháp này chưa thử nhưng có vẻ như an toàn hơn phương pháp trên.
 - Phương pháp cuối cùng: sử dụng máy phát xung và dao động ký, phát xung vào mạch cộng hưởng và dùng dao động kí đo ngõ ra để biết cộng hưởng, phương pháp này tốt nhất nhưng không có điều kiện làm.
- Xong! muốn đốt gì thì quăng vào cuộn coil, lưu ý coi chừng phỏng tay.
- Nếu sử dụng làm máy induction sealing thì sử dụng dây mềm có lẽ sẽ dễ quản hơn, và cũng không cần dùng tản nhiệt nước, vì cho nước chạy trong ống để lâu sẽ bị rò rỉ rất khó chịu. Áp đầu vào máy này có thể là khoảng 55V đến 110V là vừa đủ, cũng còn tùy công suất mình chọn, công suất cao sẽ cho băng tải chạy nhanh hơn. Còn vấn đề chỉnh công suất thì có thể sử dụng phương pháp kích xung điều khiển fet theo phương pháp Phase-shift control of H-bridge như sau: kích lần lượt chân Q1 và Q4 sau đó là Q2 Q4 rồi Q3 Q2 rồi lại tiếp tục như cũ, khoảng thời gian Q2Q4 kích là để điều chỉnh công suất mạch, vì khi này 2 đầu của mạch đều được nối GND, làm dòng trên cuộn dây xả bớt về nguồn làm giảm công suất của mạch.

5. Một số hình ảnh





- Cái chỗ đỏ là đã nóng đến nhiệt độ Curie, khoảng 780C
- Mạch này tần số cộng hưởng khoảng 33kHz áp đầu vào là 24V