

ĐỊNH VỊ LỖI CÁP NGẦM BẰNG MÁY PHÁT ÂM TẦN VÀ CÂY DÒ TỪ TRƯỜNG

Nguyễn Văn Sơn
Trường Đại học Thủ Dầu Một

TÓM TẮT

Bài báo này giới thiệu một giải pháp định vị lỗi cáp ngầm thuộc họ các giải pháp định vị lỗi chính xác (pinpointing) dùng bộ máy phát âm tần và cây dò từ trường chuyên dụng. Ngoài khả năng định vị lỗi cáp ngầm, bộ thiết bị máy phát âm tần và cây dò từ trường còn có khả năng định tuyến cáp ngầm và đo độ sâu chôn cáp. Bài báo này cũng giới thiệu bản thiết kế và chế tạo bộ thiết bị máy phát âm tần và cây dò từ trường của tác giả. Bộ thiết bị này đã được tác giả chế tạo và đã được phân xưởng cơ điện Công ty Điện lực Lâm Đồng thử nghiệm và chứng tỏ bộ thiết bị hoàn toàn sử dụng được.

Từ khóa: định vị lỗi cáp ngầm, định vị lỗi chính xác

1. GIỚI THIỆU

Hiện nay một số tỉnh, thành phố ở Việt Nam đã có các đường dây tải điện chôn ngầm dưới đất mà ta thường gọi là đường dây cáp ngầm. Ở khu vực phía Nam, thành phố Hồ Chí Minh và một số nơi (Đà Lạt, Vũng Tàu, Biên Hòa...) đã có lắp đặt đường dây cáp ngầm với mức điện áp là 24KV và tương lai sẽ có nhiều tỉnh - thành lắp đặt đường dây tải điện ngầm là khuynh hướng tất yếu. Các thành phố đã lắp đặt cáp ngầm hàng năm đều có các sự cố về đường dây, sự cố về đường dây có nguyên nhân do ngoại lực tác động và do chất lượng của ngầm suy giảm theo thời gian. Công ty Điện lực II đã trang bị cho Công ty Điện lực các tỉnh, thành có lắp đặt đường dây cáp ngầm xe dò lỗi cáp ngầm Vario KMT của hãng Hagenuk KMT Kabelmesstechnik GmbH nước Đức, đây là thiết bị rất đắt tiền nhưng rất hay hư hỏng. Do đó việc nghiên cứu, chế tạo các thiết bị dò lỗi cáp ngầm có tính thực tiễn và đây là lĩnh vực nghiên cứu cần thiết cho chuyên ngành điện – điện tử. Định vị lỗi cáp ngầm gồm hai bước: xác

định vị trí lỗi sơ bộ (Prelocation) và xác định vị trí lỗi chính xác (Pinpointing). Mỗi bước có nhiều phương pháp khác nhau, để định vị lỗi cáp phải phối hợp nhiều phương pháp. Bài báo này giới thiệu một giải pháp thuộc phương pháp xác định lỗi chính xác là sử dụng máy phát âm tần và cây dò từ trường để định vị lỗi cáp ngầm và giới thiệu về thiết kế và chế tạo thiết bị cho giải pháp này.

2. NỘI DUNG

2.1. Cấu trúc cáp ngầm điện lực

Cáp điện lực những năm của thập niên 60 có lớp cách điện là giấy tẩm dầu, ngày nay lớp cách điện được thay thế bằng vật liệu PVC, EPR, PR hoặc XLPE.

Phần dẫn điện: là lõi đồng gồm nhiều sợi, tiết diện là hình tròn ở cáp lõi đơn hay hình cánh cung ở cáp nhiều lõi.

Phần cách điện: 1 – 1KV: Giấy tẩm hóa chất (PILC), Polyvinylchloride (PVC); 1 – 30KV: Giấy tẩm hóa chất (PILC), Cross linked Polyethylene (XLPE), Ethylene Propylene Rubber (EPR); hơn 60KV: Giấy với dầu hoặc khí, Cross linked

Polyethylene (XLPE). Ngoài ra còn có các vật liệu cách điện khác.

Lớp bán dẫn: Mục đích của lớp bán dẫn là tránh sự phóng điện từng phần và điện trường cao trong cáp. Lớp bán dẫn làm mềm điện trường hình thành xung quanh

dây dẫn để tránh phóng điện gây nguy hiểm cho cáp.

Lớp bọc giáp: Mục đích của lớp bọc giáp là bảo vệ, dẫn dòng rò hoặc dòng lỗi đất.

Vỏ bọc plastic: Đây là lớp bảo vệ bên ngoài cáp, thường là PVC hay PE.



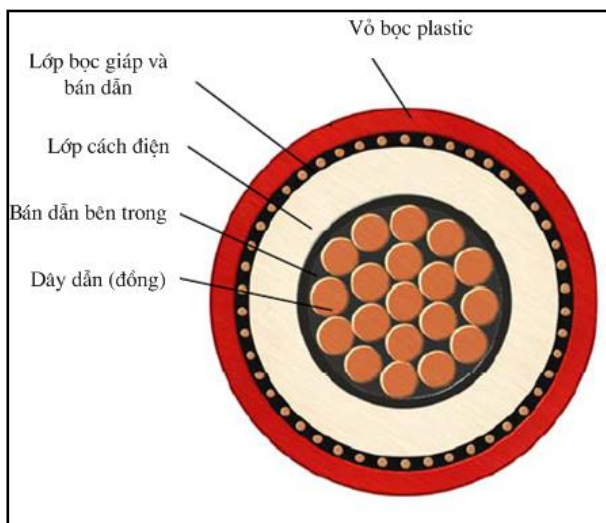
Hình 1. a) Cáp lõi đơn có bọc giáp. b) Cáp nhiều lõi có bọc giáp. c) Cáp nhiều lõi không bọc giáp

2.2. Phân loại lỗi cáp

Tùy thuộc vào loại lỗi cáp các phương pháp định vị lỗi cáp khác nhau sẽ được tiến hành.

Lỗi dây dẫn – dây dẫn (lỗi song song): Có sự dẫn điện giữa 2 hoặc nhiều dây dẫn với nhau. Điện trở cách điện giữa các dây dẫn có thể là 0Ω (điện trở thấp) hoặc vài $\text{mega}\Omega$ (điện trở cao) (hình 3).

Lỗi dây dẫn – vỏ bọc: Có sự dẫn điện giữa dây dẫn và vỏ bọc với nhau. Điện trở cách điện giữa các dây dẫn có thể là 0Ω (điện trở thấp) hoặc vài $\text{mega}\Omega$ (điện trở cao).



Hình 2. Cấu trúc các lớp của cáp lõi đơn có bọc giáp

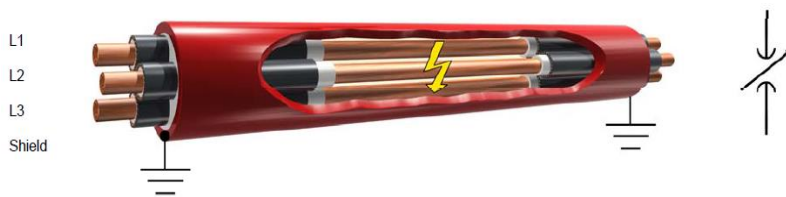


Hình 3. Lỗi dây dẫn – dây dẫn.

Lỗi phóng điện: Có sự phóng điện giữa các dây dẫn với nhau, trong trường hợp này điện trở cách điện giữa các dây dẫn phóng điện là rất lớn.

Lỗi đứt dây dẫn: Dây dẫn bị đứt, trong trường hợp này điện trở dây dẫn rất cao, có thể là vô cùng nếu đứt là hoàn toàn.

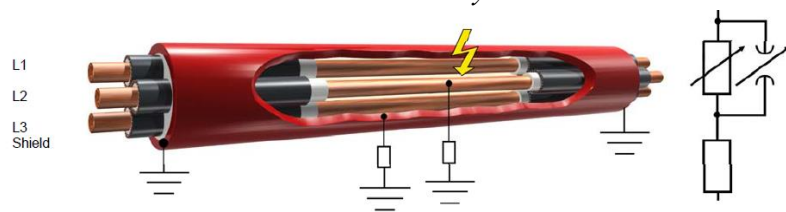
Lỗi đất, lỗi vỏ bọc: Lỗi giữa dây dẫn và đất xung quanh. Loại lỗi này đặc biệt được chú ý đến khi sử dụng điện áp cao.



Hình 4. Lỗi phóng điện giữa các dây dẫn.



Hình 5. Lỗi đứt dây dẫn.

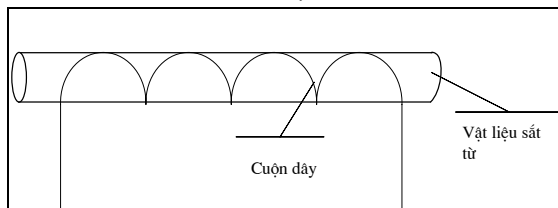


Hình 6. Lỗi đất, lỗi vỏ bọc.

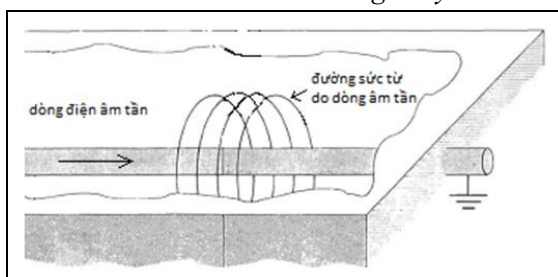
2.3. Định vị lỗi cáp ngầm pinpointing dùng với máy phát âm tần

Pin-pointing là phương pháp định vị lỗi chính xác, nó thuộc bước thứ hai trong hai bước định vị lỗi cáp. Nội dung phương pháp pin-pointing dùng với máy phát âm tần là sử dụng dòng điện âm tần tạo ra điện – từ trường xung quanh cáp điện, nơi có sự biến dạng điện - từ trường là nơi có sự cố về cáp. Vì sao phải là dòng điện âm tần? vì dòng điện âm tần có thể phát hiện, cảm nhận dễ dàng bằng tai, tần số âm tần khác xa tần số điện lưới (50Hz) nên ít bị can nhiễu của điện – từ trường của điện lưới. Nguyên lý của cảm biến từ trường dòng điện âm tần dựa trên định luật cảm ứng điện từ, cấu tạo của cảm biến này là một cuộn dây quấn trên một mạch từ hở là một thanh sắt từ hay là một thanh ferit.

Khái niệm phương pháp cực đại và phương pháp cực tiểu ở phương pháp pin-pointing dùng máy phát âm tần.



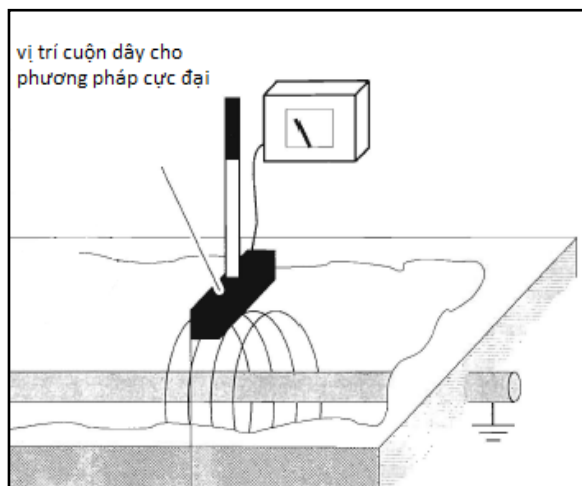
Hình 7. Cảm biến từ trường xoay chiều



Hình 8. Hình ảnh đường cáp ngầm và đường sức từ xung quanh.

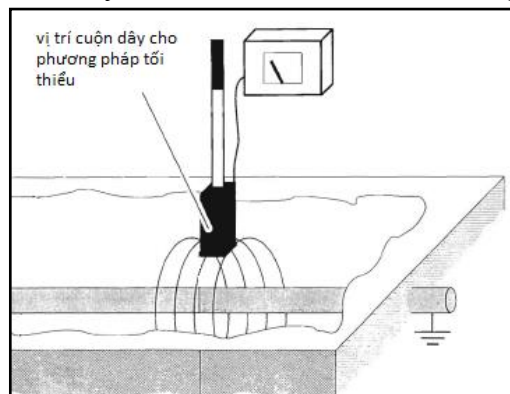
Phương pháp cực đại: Ở phương pháp này cuộn dây cảm ứng từ đặt nằm ngang và vuông góc với đường dây cáp (hình 9).

Trong phương pháp cực đại cường độ/âm lượng đạt giá trị lớn nhất khi cây dò ngay trên đường cáp và vì thế phương pháp này có tên là phương pháp cực đại.



Hình 9. Vị trí cuộn dây cảm ứng từ ở phương pháp cực đại.

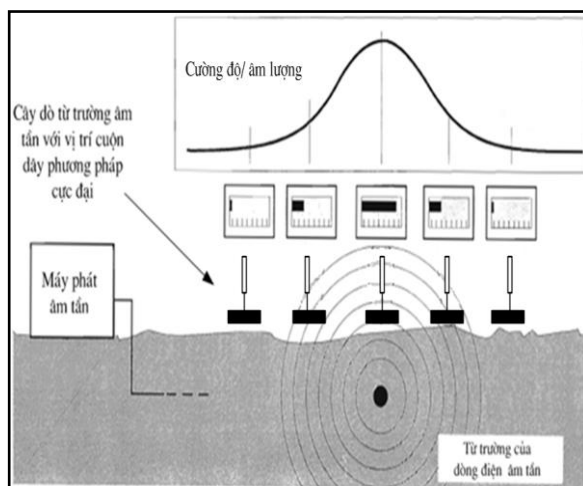
Phương pháp tối thiểu: Ở phương pháp này cuộn dây cảm ứng từ đặt thẳng đứng (đường cáp nằm ngang và song song với mặt đất) (hình 11). Cường độ từ trường / âm lượng đạt giá trị tối thiểu khi cây dò ngay trên đường cáp và có hai cực đại ở hai bên (hình 12) điều này được cảm nhận rất rõ khi đóng đưa cây dò từ trường vuông góc với đường cáp.



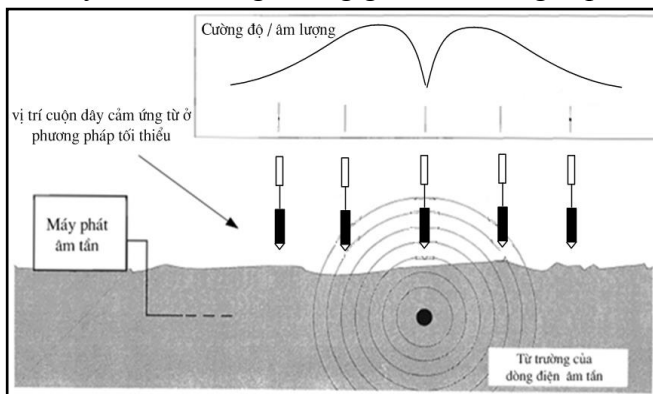
Hình 11. Vị trí cuộn dây cảm ứng từ ở phương pháp tối thiểu.

2.4. Định vị lỗi cáp ngầm, lỗi dây – vỏ bọc

Đối với phương pháp cực đại: Lỗi dây dẫn – vỏ bọc là lỗi phổ biến nhất của cáp ngầm điện lực. Điện trở tại lỗi dây dẫn – vỏ bọc ban đầu thường có điện trở lớn (vài chục $K\Omega$) người ta phải xử lý bằng cách phóng điện điện áp cao tạo hồ quang tại vị trí lỗi, hồ quang gây ra carbon hóa tại vị trí lỗi và làm điện trở giảm. Ở phương pháp cực đại cuộn dây cảm ứng từ đặt nằm



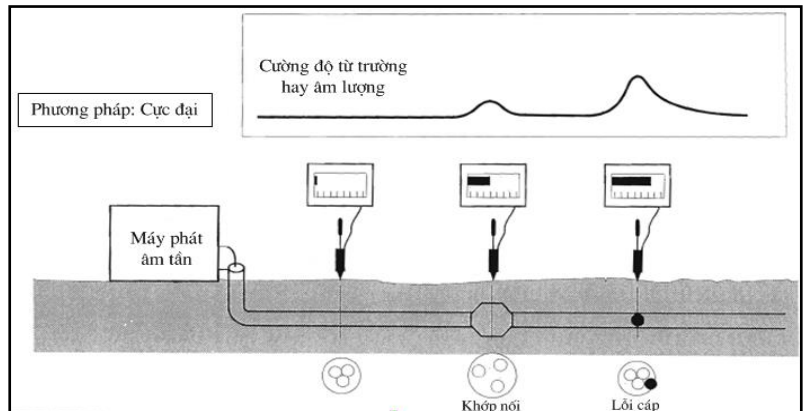
Hình 10. Cường độ từ trường/âm lượng đạt giá trị lớn nhất khi cây dò ngay trên đường cáp.



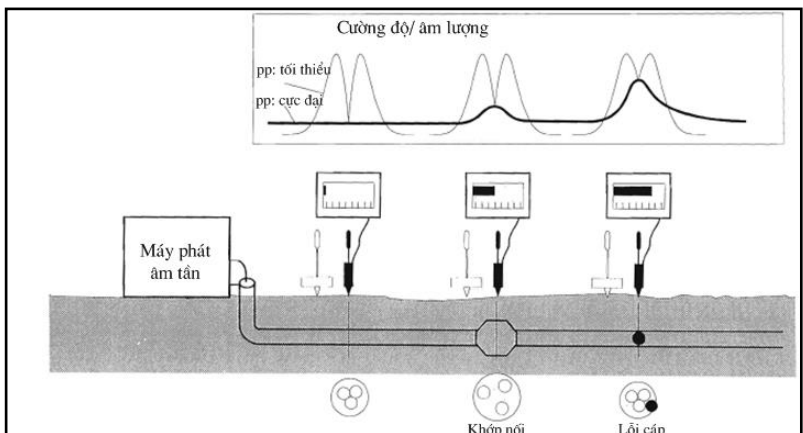
Hình 12. Cường độ từ trường/âm lượng đạt giá trị tối thiểu khi cây dò ngay trên đường cáp.

ngang và vuông góc với đường cáp và ngay phía trên đường cáp ngầm. Định vị lỗi này ở phương pháp cực đại cường độ từ trường dòng điện âm tần đạt cực đại tại vị trí lỗi hoặc âm lượng là lớn nhất rồi sau đó giảm nhanh về không. Trong quá trình dò lỗi đôi khi có các cực đại do các khớp nối nhưng có cường độ không cao âm lượng không lớn lắm, điều này được nhận biết do kinh nghiệm người vận hành và cần được tập huấn.

Hình 13. Định vị lỗi cáp, lỗi: dây dẫn – vỏ bọc phương pháp cực đại.



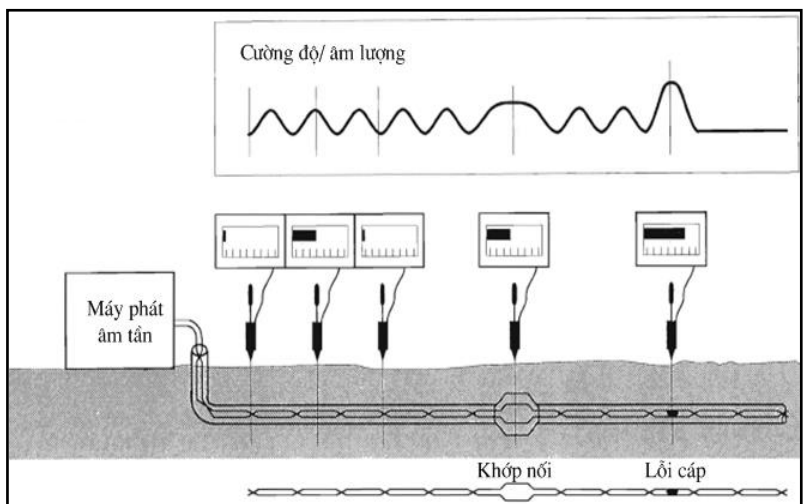
Đối với phương pháp tối thiểu: Ở phương pháp tối thiểu cuộn dây cảm ứng từ đặt thẳng đứng song song với đường cáp. Tại vị trí lỗi, giá trị tối thiểu cường độ từ trường hay âm lượng là lớn nhất, điều này dễ cảm nhận bằng cách đưa cây dò qua lại vuông góc với đường cáp.



Hình 14. Định vị lỗi cáp, lỗi: dây dẫn – vỏ bọc phương pháp tối thiểu.

pháp cực đại hay tối thiểu cho kết quả gần như không phân biệt do điện từ trường tại vị trí lỗi là biến dạng.

Định vị lỗi cáp 2 dây xoắn không bọc giáp: Trường hợp hai dây dẫn của cáp 2 dây xoắn chạm nhau với điện trở thấp sử dụng máy phát âm tần và cây dò từ trường cũng cho kết quả tốt, tại vị trí lỗi cường độ/âm lượng là lớn nhất, sau vị trí lỗi cường độ/âm lượng suy giảm nhanh. Trên dọc đường cáp chưa tới vị trí lỗi cường độ/âm lượng tăng giảm một cách tuần hoàn theo bước xoắn của cáp. Vị trí của cuộn dây cảm biến từ ở phương



Hình 15. Định vị lỗi cáp 2 dây xoắn không bọc giáp.

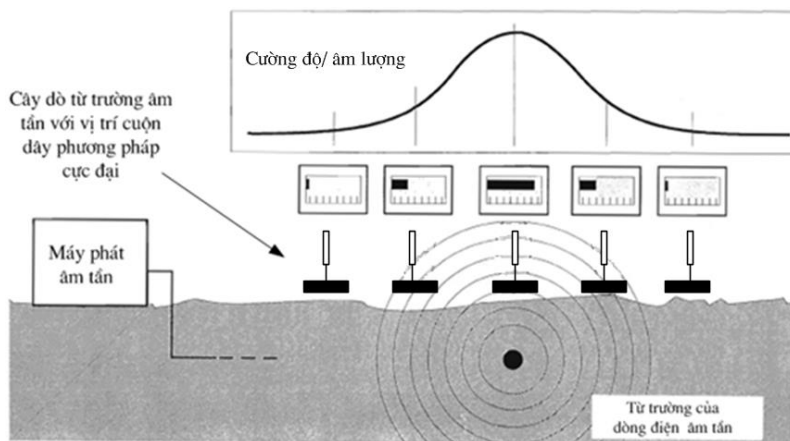
2.5. Các công dụng khác của máy phát âm tần và cây dò từ trường

Công dụng định tuyến: Ngoài công dụng định vị lỗi, máy phát âm tần và cây dò từ trường còn có công dụng định tuyến rất tốt. Dọc theo đường cáp cường độ/âm lượng là cực đại khi vị trí cuộn dây cảm biến từ ở phương pháp cực đại.

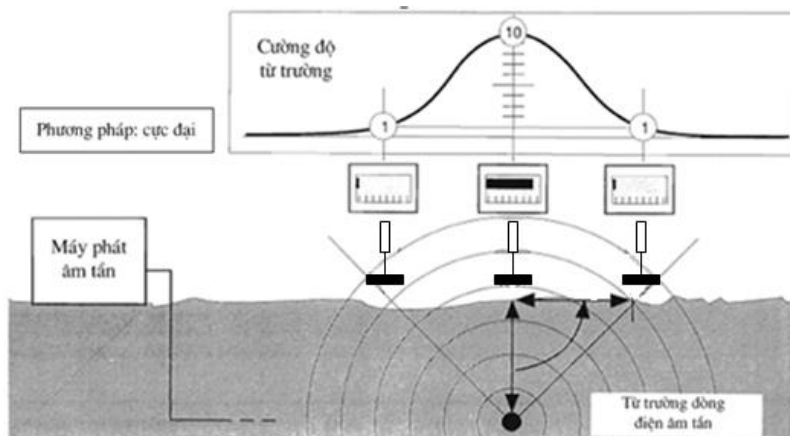
Công dụng đo độ sâu đường cáp:

– Khi vị trí cuộn dây cảm biến từ ở phương pháp cực đại: cây dò từ trường ở vị trí trung tâm ngay trên đường cáp có cường độ từ trường đánh giá ở mức 10, hai vị trí hai bên có cường độ từ trường mức 1 thì khoảng cách từ trung tâm đến một trong hai vị trí hai bên được xem là độ sâu của cáp ngầm. Khoảng cách từ

– Khi vị trí cuộn dây cảm biến từ ở phương pháp tối thiểu: Ở hai vị trí hai bên đường cáp, vị trí của cuộn dây cảm biến từ được xoay 45° và cây dò cầm thẳng đứng hoặc cuộn dây cảm biến từ không xoay thì cây dò cầm nghiêng 45° (hình 18) phát hiện hai vị trí tối thiểu hai bên, khoảng cách d từ một trong hai vị trí tối

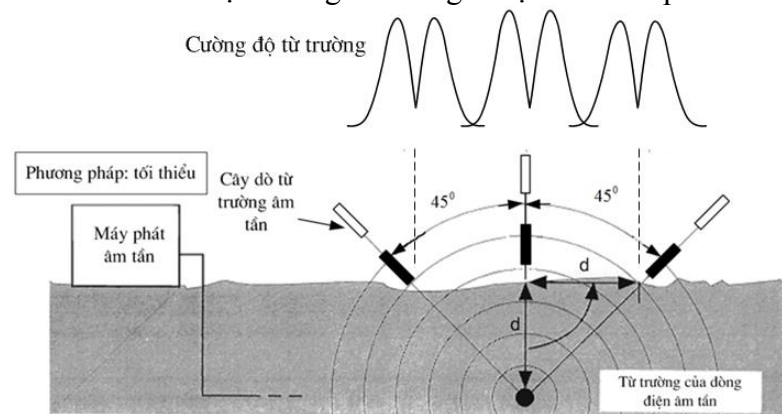


Hình 16. Định tuyến cáp dùng máy phát âm tần và cây dò từ trường âm tần.
mặt đất đến cuộn dây cảm biến từ xem là không đáng kể.



Hình 17. Đo độ sâu chôn cáp với vị trí cuộn dây cảm biến từ ở phương pháp cực đại.

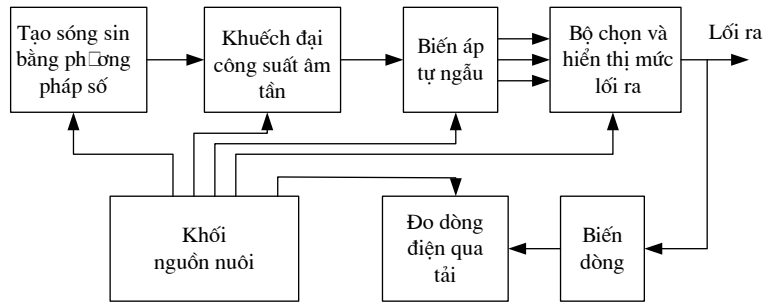
thiểu hai bên tới vị trí trung tâm cũng là độ sâu của cáp.



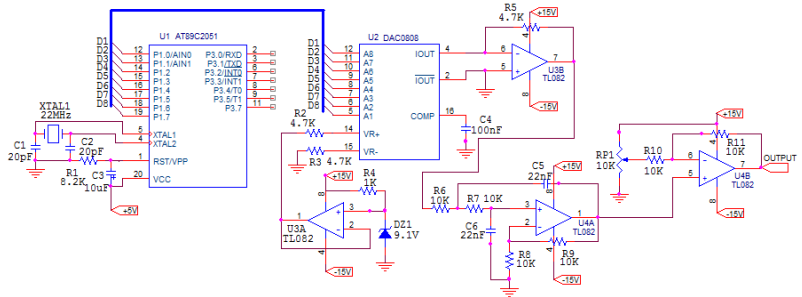
Hình 18. Đo độ sâu chôn cáp với vị trí cuộn dây cảm biến từ ở phương pháp tối thiểu.

2.6. Thiết kế và thi công máy phát âm tần và cây dò từ trường

Hình 19. Sơ đồ khối máy phát âm tần dùng cho định vị lỗi cáp ngầm

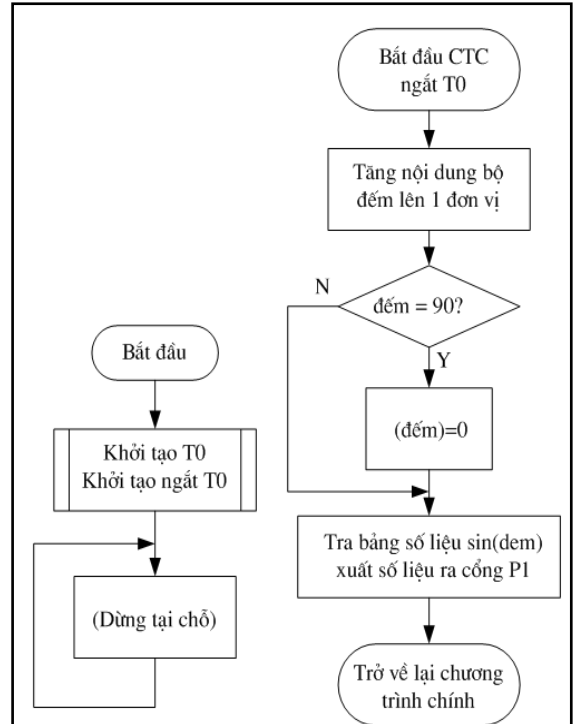


Khối dao động sóng sin: Khối dao động sóng sin được thiết kế bằng phương pháp số, tuy có phức tạp hơn nhưng có những ưu điểm: ổn định cao về tần số và biên độ, chất lượng tốt về độ sai dạng.



Hình 20. Khối dao động sóng sin dùng cho máy phát âm tần định vị lỗi cáp ngầm.

Nguyên lý hoạt động của khối dao động này được giải thích: Vi điều khiển AT89C2051 được lập trình để đều đặn phát ra các số liệu hình sin, các số liệu sin này được biến đổi DA để ra tín hiệu sin dạng tương tự nhờ U2: DAC0808 và U3B: TL082. Tầng U3A cung cấp điện áp chuẩn cho DAC0808. Tầng U4A là bộ lọc thấp qua Butterworth để làm trơn tín hiệu sin tương tự. Tầng U4B là tầng dịch mức một chiều lối ra. Tần số sin phát ra được thiết kế là 1027Hz, được chọn tần số này với các lý do: tần số dễ nghe đối với tai người, số lẻ 27Hz là để tránh họa tần bậc cao của điện lưới 50Hz. Thạch anh sử dụng cho vi điều khiển AT89C2051 là 22.184MHz, chu kỳ máy của vi điều khiển: $(1/22.184) \times 12 = 0.5409 \mu s$, thiết lập ngắt T0 là -20 (TH0=-20) mode 2, như vậy thời gian đều đặn vào ngắt T0 là 10.8186 μs . Một chu kỳ sóng sin được thiết kế gồm 90 mẫu, chu kỳ sóng sin là: 973.6747 μs và tần số sóng sin phát ra bởi vi điều khiển là 1027Hz.

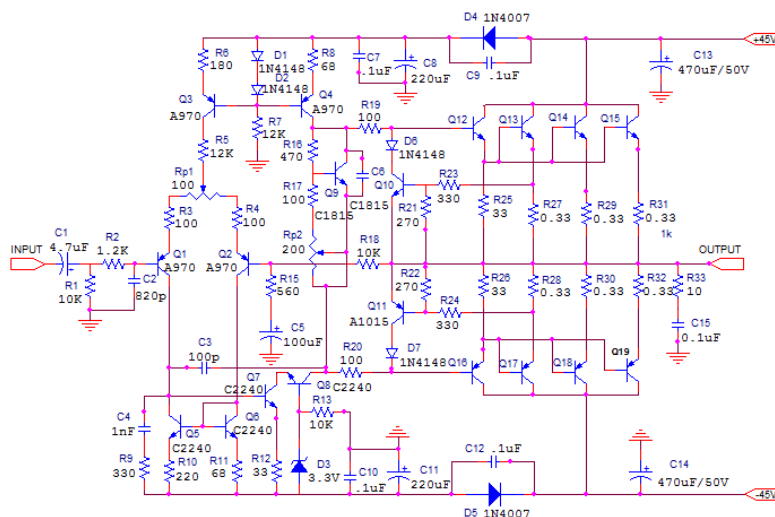


Hình 21. Lưu đồ thuật toán cho phần mềm vi điều khiển tạo sóng sin; (a) chương trình chính, b) chương trình con ngắt T0

Hình 22. Hình ảnh board phát sóng sin.

Khuếch đại công suất dùng cho máy phát âm tần được thiết kế là tầng công suất hạng A-B với ưu điểm chính vốn có của hạng khuếch đại này là độ méo dạng tín hiệu bé và không cần phải dùng đến giải pháp ổn áp cho điện áp nuôi. Một ưu điểm khác của khuếch đại hạng A-B là ổn định chế độ một chiều do sử dụng giải pháp các nguồn dòng transistor.

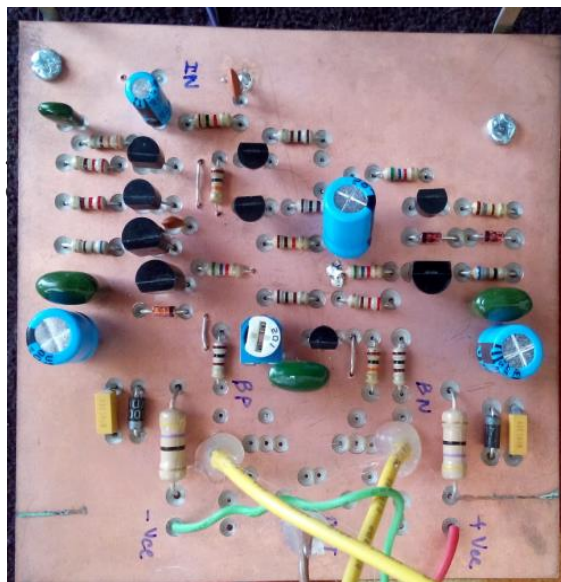
Q1, Q2: cặp vi sai tại lối vào, Q1 transistor nhận tín hiệu ở lối vào, Q2 transistor nhận tín hiệu phản hồi từ lối ra. Biến trở chỉnh R_{p1} dùng để chỉnh cân bằng dòng phân cực cho cặp vi sai Q1, Q2. Q3: nguồn dòng hằng cấp dòng cho cặp vi sai Q1, Q2. Q5: nguồn dòng hằng làm tải cho Q1. Q4: nguồn dòng hằng làm tải cho Q8. Cặp transistor Q7, Q8 mắc cascad để chuyển tín hiệu từ C Q5 sang C Q8, Q7 mắc EC (E chung), Q8 mắc BC (B chung). Q12, Q13, Q14, Q15 (2SC29220 là các

**Hình 23.** Sơ đồ nguyên lý khối khuếch đại công suất được thiết kế dùng cho máy phát âm tần định vị lỗi cáp ngầm.

transistor công suất dẫn dòng ra tải cho các bán kỳ dương, tương tự các transistor Q16, Q17, Q18, Q19 (2SA1216) là các transistor công suất dẫn dòng ra tải cho các bán kỳ âm. Q9 có công dụng ổn định dòng phân cực cho các transistor công suất lối ra nhờ điều chỉnh điện áp giữa hai chân B của Q12 và Q16. Q9 được bố trí sát các transistor công suất để tiếp xúc nhiệt, khi các transistor công suất phát nóng điều này làm dòng phân cực tăng, Q9 dẫn mạnh hơn điện áp giữa hai chân B của Q12 và Q16 giảm

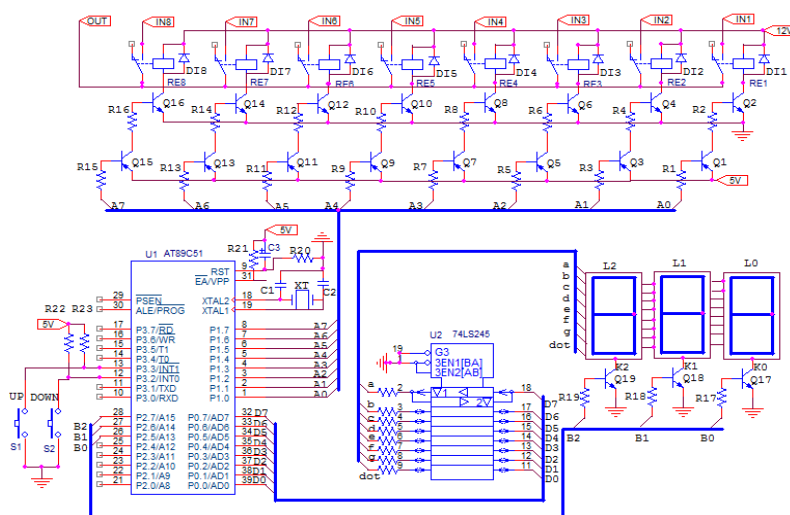
làm giảm dòng phân cực cho các transistor công suất, tức dòng phân cực các transistor công suất được ổn định. Biến trở chỉnh Rp2 dùng để chỉnh dòng phân cực cho các transistor công suất. Transistor Q10, Q11 có chức năng bảo vệ quá dòng cho các transistor công suất, cụ thể Q10 bảo vệ quá dòng cho các transistor công suất Q12, Q13, Q14, Q15, còn Q11 bảo vệ quá dòng cho các transistor công suất Q16, Q17, Q18, Q19. Hệ số khuếch đại điện áp của tầng công suất được định bởi cầu điện trở phản hồi R18, R15.

$$A_v = \frac{R_{18}}{R_{15}} = \frac{10000}{560} = 17.9$$



Hình 24. Hình ảnh board khuếch đại công suất.

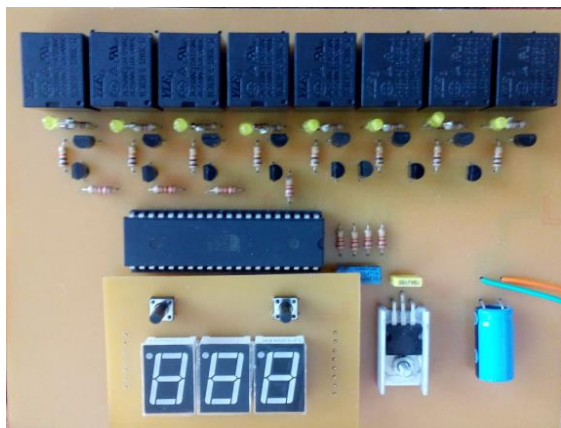
Khởi điều chỉnh và hiển thị mức điện áp lõi ra: Khởi điều chỉnh mức điện áp lõi ra gồm 9 mức, được thiết kế gồm các mức là: 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70% và 100%. Mức 100% tương ứng với điện áp lõi ra là 70Vpp.



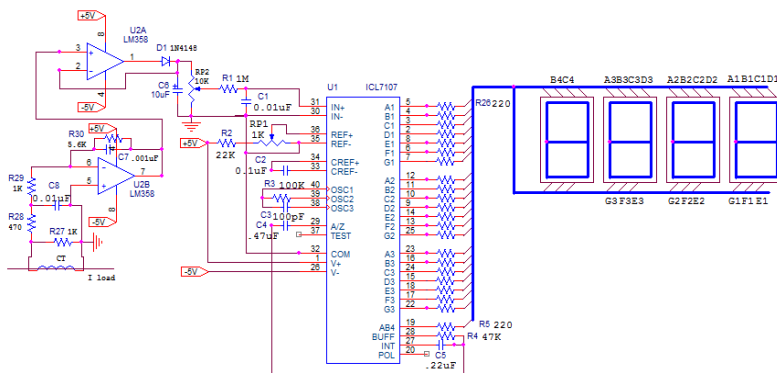
Hình 25. Sơ đồ nguyên lý khối điều chỉnh và hiển thị mức điện áp lõi ra.

Để an toàn được lập trình khi khởi động máy phát âm tần ở mức điện áp mặc định ban đầu luôn luôn là 0%. Hai nút nhấn UP và DOWN để điều chỉnh tăng và giảm mức điện áp lõi ra. Ba LED 7 đoạn hiển thị mức % điện áp lõi ra.

Hình 26. Hình ảnh board điều chỉnh và hiển thị mức điện áp lõi ra.

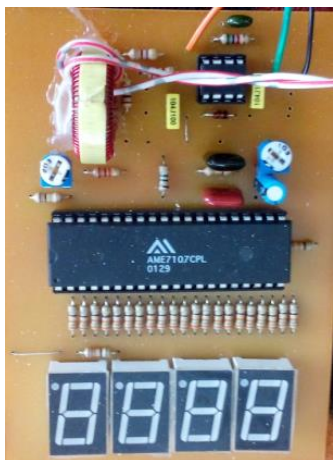


Khối đo và hiển thị dòng tải: Khối đo và hiển thị được thiết kế trên IC đo và hiển thị điện áp một chiều ICL7107. IC này cho phép hiển thị trực tiếp lên 4 LED 7 đoạn, con số lớn nhất hiển thị là 1999 được gọi là 3+1/2 digit.



Hình 27. Sơ đồ nguyên lý khối đo và hiển thị dòng tải.

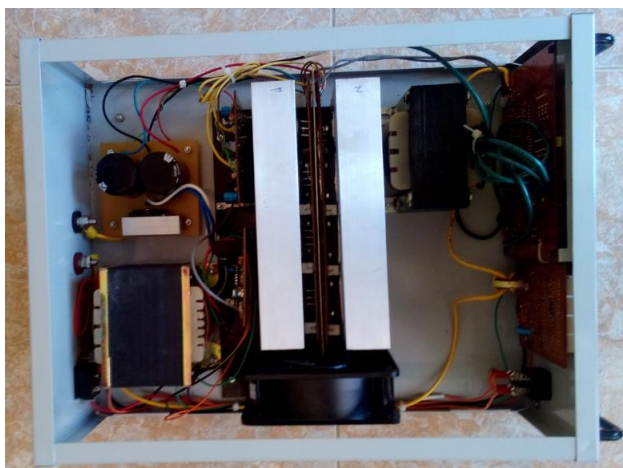
Tín hiệu dòng tải nhận từ biến dòng (CT) được chuyển thành tín hiệu điện áp nhờ điện trở R27, tín hiệu điện áp này được khuếch đại nhờ IC U2B và chỉnh lưu nhờ IC U2A và diode D1, tụ C6 san bằng điện áp chỉnh lưu. Điện áp chỉnh lưu này được đo và hiển thị dạng số nhờ IC U1: ICL7107



Hình 28. Hình ảnh board hiển thị dòng tải.

Các đặc trưng kỹ thuật máy phát âm tần thi công: Điện áp sử dụng 220VAC $\pm 10\%$; Tần số sóng sin 1027Hz; Công suất cực đại 250WRMS; Điện áp sin cực đại lối ra 70Vpp; Dòng điện tải cực đại tại mức 100% là 10ARMS.

Mức %	Điện áp Vpp lối ra (V)	Điện áp VRMS lối ra (V)	Dòng điện hiệu dụng cực đại lối ra (A) (theo tính toán)
0	0	0	0
10	7	2.5	100
20	14	5	50
30	21	7	35
40	28	10	25
50	35	12	21
60	42	15	17
70	50	18	14
100	70	25	10



Hình 29. Hình ảnh bên trong máy phát âm tần.

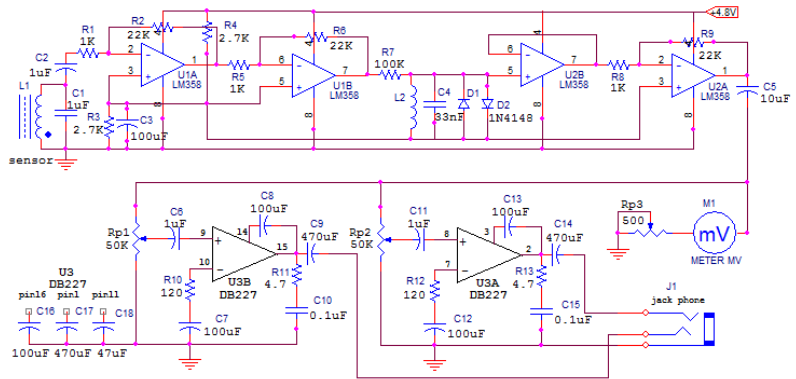
Cây dò từ trường định vị lỗi cáp ngầm: Cuộn dây cảm biến từ được ký hiệu là L1 trên sơ đồ hình 30, C1 cùng với L1 tạo thành mạch cộng hưởng song song, cộng hưởng ở tần số máy phát âm tần. Tụ C2 ghép nối thành phần điện áp xoay chiều đến khuếch đại U1A, R2, R1 định hệ số khuếch đại cho tầng khuếch đại U1A này ($A_v = \frac{R_2}{R_1} = \frac{22}{1} = 22$ (lần)). Cầu chia áp

R4, R3 định điện thế một chiều tại lối vào của U1A, U1B bằng $\frac{1}{2} V_{cc} = 2.4V$, điện thế một chiều lối ra của U1A, U1B cũng bằng $\frac{1}{2} V_{cc} = 2.4V$ do thành phần một chiều lối vào hai tầng khuếch đại này là không. L2, C4 tạo thành mạch cộng hưởng

song song nhằm loại bỏ các thành phần tần số khác tần số máy phát âm tần. D1, D2 có chức năng hạn biên. U2B là tầng lặp lại điện áp (tầng đệm) nhằm phối hợp trở kháng cao của mạch cộng hưởng song song L2, C4. U2A là tầng khuếch đại điện áp,

Hình 30. Sơ đồ nguyên lý cây dò từ trường để định vị lỗi cáp ngầm.

điện áp tín hiệu lỗi ra tầng này được chỉ thị bằng một điện kế M1, cũng điện áp tín hiệu lỗi ra tầng này được đưa vào khuếch đại công suất âm tần U3A, U3B để cảm nhận độ lớn âm tần bằng tai.



Hình 31. a) Hình ảnh cây dò từ trường thi công; b) Mặt trên cây dò từ trường.



a)



b)

3. KẾT LUẬN

Định vị lỗi cáp ngầm có nhiều phương pháp, mỗi phương pháp có ưu khuyết điểm riêng, trong họ định vị lỗi chính xác phương pháp sử dụng máy phát âm tần được các tài liệu trên mạng hay đề cập đến và phương pháp này có 3 khả năng định vị

lỗi cáp, định tuyến và xác định độ sâu chôn cáp. Có tính khả thi cao về thiết kế và chế tạo bộ thiết bị của phương pháp này. Bộ thiết bị này đã được tác giả chế tạo và đã được phân xưởng cơ điện công ty Điện lực Lâm Đồng thử nghiệm và chứng tỏ bộ thiết bị hoàn toàn sử dụng được.

POWER UNDERGROUND CABLE FAULT LOCATION WITH AUDIO-FREQUENCY GENERATOR AND MAGNETIC DETECTOR

Nguyen Van Son

ABSTRACT

This paper introduces a solution about underground cable fault location that belongs to the family of the pinpointing methods using audio-frequency generator and magnetic field detector . In addition to the ability to locate underground cable fault, the method of audio-frequency generator and magnetic field detector can detect underground cable routing and measure cable burial depth. This paper also introduces the design and manufacture of audio-frequency generator, magnetic field detector of the author. Devices were tested by electromechanical workshop of Lam Dong Electricity corporation and demonstrated the devices completely usable.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] <http://www.cablejoints.co.uk/sub-product-details/megger-cable-fault-locators#>
- [2] http://www.cablejoints.co.uk/upload/Cable_Fault_Location_in_Low_&_High_Voltage_Power_Cables___Guide.pdf
- [3] http://www.cablejoints.co.uk/upload/Cable_Fault_Location_in_Low_&_High_Voltage_Power_Cables___Guide.pdf
- [4] <https://www.elprocus.com/underground-cable-fault-distance-locator-circuit/>
- [5] http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=5522159&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D5522159

- Ngày nhận bài 23/04/2016
- Chấp nhận đăng: 29/05/2016

Liên hệ: Nguyễn Văn Sơn

Khoa Điện - Điện tử Trường Đại học Thủ Dầu Một

Số 6 Trần Văn Ôn, Phú Hòa – Thủ dầu Một – Bình Dương

Email: sonnv@tdmu.edu.vn