

ספקי כוח ליניאריים – מהלכה למעשה.

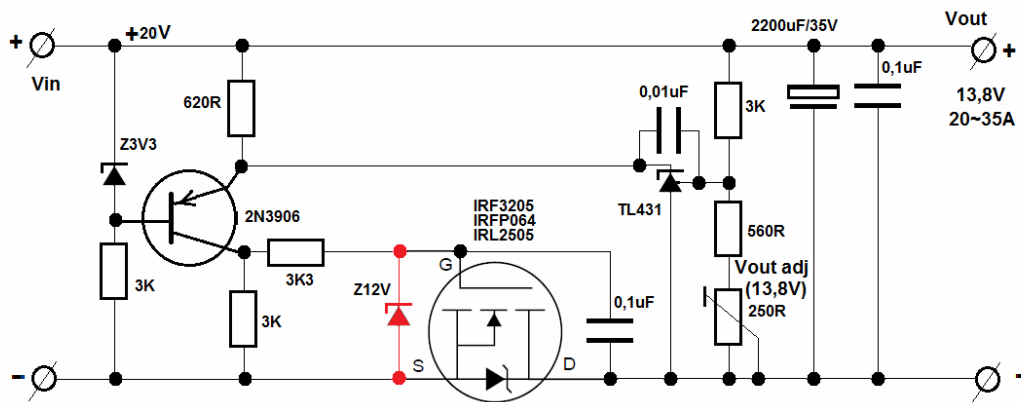
מאת: שפיר ליאוניד 4Z4LS ויורי זינצ'וק 4Z5PN

ניתוח המצב ופירוקו לגורמים.

בנסיוני נאלצתי לבנות מכלולים שונים בהקמת תחנת שידור ביתית. אחד הפריטים החשובים הינו ספק הכוח של המקמ"ש עצמו. הדרישות מהספק כוח הן בד"כ שקט ושיהיה בעל הגנות. בוודאי ניתן לחשוב כי בעידן של היום ישנן אין ספור אפשרויות לרכישת ספק ממותג במחיר זול וחזק ממש מבחינת ההספק שמופק מהספק. העלויות של הספקים הממותגים שנעים בין 100 ל - 250 שקלים ממש דוחים את הרצון להדליק מלחם ולהתחיל בהליכי הבנייה עם העבודות המכניות. בהחלט ספק ממותג קטן ממדים וקל משקל, אך ישנו צורך לחקור לעומק תופעות שעלולות להיווצר במוצר, גם כאשר הוא מוגן היטב מקצר חשמלי במוצא ואף מגן על העומס יקר הערך, זהו המקמ"ש. לעומתו, קיים ספק הכוח הליניארי. ספק זה הוא שקט מאוד, וישנם אנשים שמעדיפים את הספק הליניארי על פני הממותג.

ראשית כל, יש לפרק את הנושא למספר שלבים. ספק הכוח הליניארי מחולק לשנאי בעל הספק משמעותי, סוגי מיישרים, מסנן, מייצב מתח שבאמצעותו ניתן לכוון את מתח המוצא לרמות שונות וחלק של הגבר הזרם שיתמוך בעומס שיחובר במוצא. מבחירת התצורה ניתן לדעת האם נוכל לחסוך בהספק של חום שהוא תוצר של בזבוז אנרגיה מיותר.

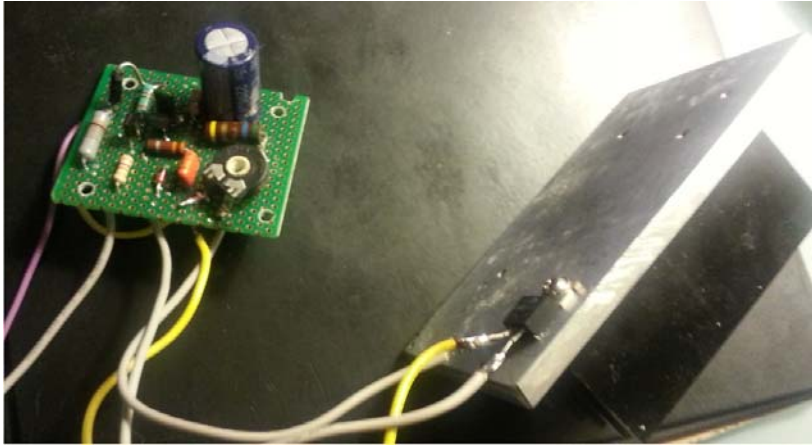
כל מעגל יוסבר מהיסוד וההתקדמות תהיה מהשלב הראשון עד לסיום הבנייה של ספק הכוח. רכיב חשוב ביותר במערכת הינו מייצב המתח. הוא צריך לתמוך ברכיב הספק. אין טעם לבנות ספק קטן שידחוף זרם ובזאת יפעיל ספק גדול, לכן אני בחרתי ברכיב FET. חברה IR מייצרת היום כמו בעבר שלל רכיבי FET בעלי יכולת דחיפת זרמים של עשרות אמפרים. רכבים אלו הינם בעלי נתון חשוב של R_{ds} ברמות של מיליאומים, דבר המאפשר מפל מתח מיזערי בערוץ זה ובהתאם לכך הפסדי הספק נמוכים מאוד.



המעגל הבסיסי שבשרטוט עבד מההפעלה הראשונה. היתרון שלו הוא שניתן לכוון את מתח המוצא בין 6 וולט למתח שמצוי על קבלי סינון ראשים. בנוסף יש לציין כי הפרש מתח המבוא-מוצא יכול לרדת ל- 0,5 וולט בלבד. זה מאפשר הפסדים של 10 וואט בלבד בזרם צריכה של 20 אמפר.

רכיבי FET ברשומים שבשרטוט הינם בעלי התנגדות של 8~9 מיליאומים במצב כאשר הטרנזיסטור פתוח. דרישת המתח להתקן G הינו 2,5~3 וולט והספק שיכול להתפזר על FET הינו 200 וואט בעומס מלא. כרכיב המפקד על שינוי המתח השתמשתי ב- TL431 SHUNT REGULATOR. זה רכיב זול מאוד ומצוי בשימוש רב בתעשייה. קבל של 10 ננופראד מקנה סינון טוב לרגולטור. את מתח המוצא של הספק ניתן לחשב באמצעות מחלק מתח של נגדים סביב TL431:

$$U_{out}=2,5 [1+3K/(560+250)]$$



בתמונה אב-טיפוס ראשוני של ספק הכוח על FET. במצב זה עבדתי עם מקמ"ש בשידור כ-10 ד' ללא קרור של הטרנזיסטור.

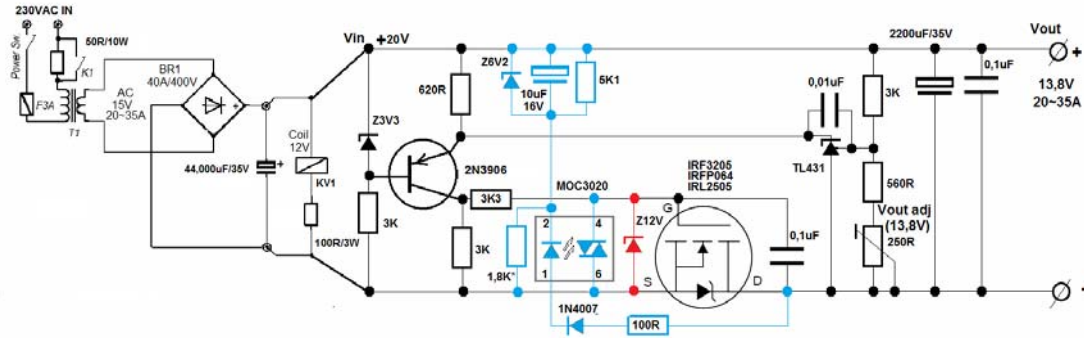
טרנזיסטור 2N3906 מהווה רכיב תאום, ודיודת הזנר מקנה מתח יציב של 3,3 וולט. המייצב עובד באופן הבא: כאשר המתח במוצא עולה הוא גם עולה ברגל הפיקוד של TL431, דבר המעלה את רמת הזרם דרכו. עליית זרם זו גורמת לעליית מתח של נגד אמטר (620 אוהם) של 2N3906, בזאת הזרם מתחיל לקטון וזה גורם לירידת מתח בערוץ S-G, התנגדות הערוץ D-S גדלה, לכן מתח המוצא של הספק יורד וחוזר למצב הנתון ע"י כיוון של נגד משתנה. טרנזיסטור FET מחובר בקו של מינוס ולכן מתח הפיקוד על FET מגיע מקו חיובי (פלוס). בשלב זה התנגדות הערוץ D-S יורדת למינימום. זרם העומס יכול להגיע עד כדי 30 אמפר ואף יותר. רצוי שמתח המבוא שמגיע מקבלי סינון לא יעבור את רמת 20 וולט. במידה והמתח בכניסה של המייצב יותר גדול מ-20 וולט רצוי להשתמש בדיודת הזנר כפי שצויין בשרטוט בצבע אדום. בהתאם לסוג ה-FET ניתן להשתמש בדיודת הזנר עד 15 וולט. זה דורש בדיקת דפי היצרן לכל רכיב ספציפית כך שהמתח בערוץ G-S לא יעלה על 75% לפי דפי הנתונים של יצרן ה-FET. נגדים הם בעלי סטייה של 5% והספק פיזור של 0,5 וואט כ"א. בכל מצב תופעת "מפל מתח" במוצא של הספק לא קיימת, אם כי מפל מתח במצב שידור או עומס מלא מהווה 0,035 וולט לכל היותר.

זה לא התכונן שלי לגמרי, לכן מעגל הבסיסי הינו חומר גלם בלבד. מעגל זה הוא טוב ובטח קיימים בו כמה חסרונות, אך במידה קטנה מזה של מעגלים אחרים המבוססים על הגבר זרם ביפולארי. על כל פנים, כאשר תכננתי את הספק לעצמי, רשמתי לפניי מספר מטרות והן:

- א. הגנת עומס – הינו מקמ"ש שהוא יקר ערך בתחנה.
- ב. הגנות נגד קצר.
- ג. הגנות נגד עליית מתח פתאומית במוצא.
- ד. הגנה נגד עליית זרם איטית מעבר לגבולות הצריכה המותרת.
- ה. הגנה טרמית. (***) אפשרות שלא מומשה, אך די פשוטה לבנייה).

לא נראה לי שלא פורטו אחד הסעיפים החשובים. יש לציין כי ספק כוח תעשייתי בעל הגנות כאלו יכול להגיע אף לאלף שקלים. הדבר היחיד שלא שמתי עליו דגש הוא הגבלת הזרם. הרי מקמ"ש בעל הספק שידור של 100 וואט דושר ספק של 20 אמפר (לשידור) ובמצב קליטה בין 1,5 ל-2 אמפר. לכן היכולת לספק את צריכת הזרם במצב השידור תלויה רק בשנאי הספק. רצוי שהשנאי יוכל לעמוד בהספקים של עד 650~700 וואט. לגבי גשר דיודות – גם כאן ניתן לצמצם הפסדים ולהשתמש בדיודות SCHOTTKY בעלי זרם של 40 אמפר כ"א. קבל סינון ראשי או כמה קבלים שיחברו במקביל, חייבים לתת קיבול כללי לפי החישוב הבא: לכל 1 אמפר של זרם - קיבול הסינון 2,000 מק"פ. ז"א יש צורך בקיבול שבין 50,000 ל-85,000 מק"פ. חוץ מזה זה ערך יתר לא יזיק. אדווה נמוכה ונקיון של המתח במוצא זה מה שמבדיל בין ספק ליניארי לממותג. בשלב זה ניתן להשתמש חופשי בספק שהוצג, אך מכאן ועד הסוף הכל יוקדש להגנות. לכן יש צורך בהגנה נגד קצר חשמלי במוצא. ז"א במצב של קצר, טרנזיסטור FET יפרץ מיידית, בזאת הוא ישרוף את 2N3906 גם כן. בחירת סוג ההגנה הוא לא דבר פשוט, מכון שהרכיבים שבשימוש הם די מהירים, לכן הגנה צריכה

לתת מענה של ניתוק מייד ולהגן על הצרכן וגם על הרכיבים שבספק. ניתן לשים נתיך, אך למה להחליף אותו בכל מצב של קצר או קפיצת זרם של הצרכן. ישנן דרכים כמו ממסר או מפסק מיגנות, אך רכיבים אלו די איטיים יחסית לזמני ההגנה שדרושים כאן. אני בחרתי בדרך של OPTOCOUPLER אם כי זה מפסק מבוקר ומגיב בצורה מיידית. נשאר לחשוב איך מחברים את מכלול ההגנה לתוך מעגל פועל מבלי לפגוע בתפקודו.



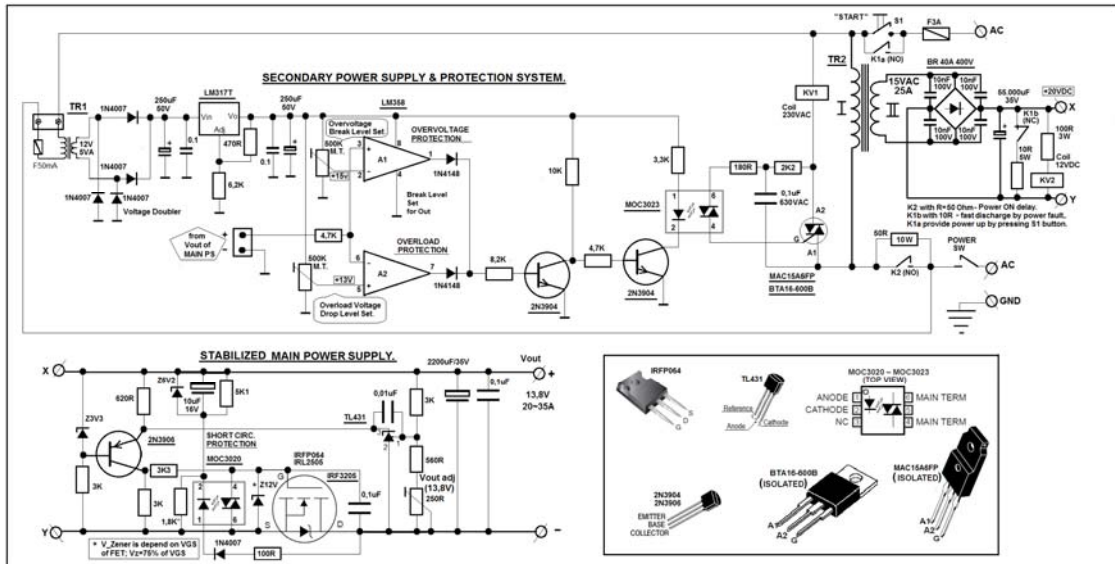
בצבע כחול סומנו רכיבים של מעגל ההגנה. מעגל זה מאפשר מצב של קצר מלא במוצא מבלי שיגרם נזק לרכיבי ספק הכוח. בנוסף ישנו מערך המבואר של השנאי והפילטר. נגד של 50 אוהם בדרך לרשת חשמל נועד על מנת ליצור השהייה רגעית כנגד עליית הזרם הראשונה לאחר הזדקת הספק וטעינת קבל הסינון שהינו בעל ערך רב. ללא נגד זה גשר הדיודות יכול להפרץ. ממסר KV1 יחובר על הפילטר ולא במוצא של הספק, על מנת שלא יחולו על הסליל שלו שינויי מתח. בנק' זו הוא יעבוד קבוע. ברגע שהקבל מתחיל להטען, הממסר נסגר ובזאת הוא מקצר עם מגעיו את הנגד בדרך לרשת. זהו פרק זמן כה קצר, אם כי נגד זה לא מספיק להתחמם ומתבטל במעגל לאחר סגירת מגעי הממסר.

מעגל ההגנה נגד קצר חשמלי במוצא – אופן פעולתו: במצב עבודה רגיל על דיודת הזרם 6,2 וולט ועל קבל הסינון שלה מתפתח מתח של 6,2 וולט בערך. באותו הרגע דיודת 1N4007 סגורה. למרות של LED במצמד האופטי מקבל מתח, אך הוא לא מוזרם מספיק. מצב של קצר חשמלי במוצא, דיודת 1N4007 נפתחת ורמת הזרם שזורם דרך ה-LED של OPTOCOUPLER עולה. במצב זה ה-TRIAC נפתח, בקצוות שלו נוצר קצר והוא מושך את G ל-S בטריג'טור FET. בהתקן G המתח שואף לאפס, ולכן הזרם במוצא מוגבל, המתח במוצא יורד ל-4~5 וולט. בכדי להחזיר את הספק לתפקודו הרגיל, יש צורך בפריקת קבל סינון ראשי או במצב של כיבוי הספק מרשת החשמל והפעלתו מחדש. כך עובדת הגנה מסוג זה. אין כאן צורך בכיווני הגבלת זרם עדינים, פשוט ישנה נפילת מתח במצב של קצר. לא נוה לנתק את הספק מהחשמל בכל מקרה שתואר, אך יש צורך להגנות נוספות והן כוללות גם ניתוק של רשת החשמל ויותר מזה.

מדוע בחרתי ב-OPTOCOUPLER שכולל את TRIAC בתוכו? – הרי TRIAC לא דורש כיוון של חיבור והוא מהיר יותר יחסית מ-OPTOCOUPLER עם פוטוטרנזיסטור.

בשלב הבא אני מציג את יתר ההגנות פרט להגנה טרמית. הגעתי למסקנה כי דרושה הגנה נגד עליית הזרם ההדרגתית והאיטית, כאשר העומס קורס ורכיבי הספק ממשיכים בצריכת הזרם ללא סוף, אך זה לא מצב של קצר חשמלי. יש גם צורך בהגנה נוספת – עליית המתח הלא מבוקרת והפתאומית במוצא של ספק הכוח. זה יכול לקרות כאשר טריג'טור FET ניזוק אחרי עבודה ממושכת מאוד ועל מנת שכל המתח שעל הפילטר לא יחזור לתוך המקמ"ש, יש צורך להגביל את עליית המתח מהסוג הזה. כאשר מדובר בהגנות בכלל, ובמצב כיבוי של מתח הרשת, קיים מצב של שינויי מתחים בתוך הספק. לכן לא ניתן להשתמש בספק עצמו כצרכן מתחים למעגלי ההגנה. אני החלטתי להשתמש בשנאי נוסף, זהיר, מוצק ובעל הספק מאוד נמוך. שנאים כאלה היו בשימוש רב במעגלי בפיקודן של הטלוויזיות הצבעוניות ועבדו שנים רבות ברצף. הרי המעגל פיקוד פעיל תמיד, הוא זה שמעביר פקודות מהשלט רחוק ובזאת מדליק ומכבה את המקלט. כך חשבתי לעשות גם אני – לבנות ספק כח קטן שיתן מענה למעגלי בקרה ולא יושפע מכל שינוי שיחול בספק הכוח הראשי. הבחירה שלי נפלה על מעגלים שביסודם ישנו מגבר שרת. אני ניצלתי את שני המגברים שמצויים במבנה היחיד. בתור רכיב משווה – COMPARATOR, בחרתי ברכיב LM358 ולא ברכיבי COMPARATOR, כי

האחרונים הם בעלי תופעות מעבר וחייבים לרתק את המוצא לקיטוב חיובי או שלילי. במגבר שרת רגיל תופעות אלו לא קיימות ושינוי המתחים במבוא ישנה את המצב של המוצא בצורה יציבה. יש לציין כי בספק הכוח שלי אני מייצב את הקו של המינוס ולא הפלוס, לכן הפיתוח של ההגנת בלי ספק מתח נוסף כמעט בלתי אפשרי. בכל מקרה ספק כוח ראשי הינו רשת צפה ואף לא קיטוב אחד לא קשור לגוף מתכתי שבו הוא בנוי. בגלל שאין קשר בקיטוב של הספק הראשי והמשני, לכן הפלוס והמינוס שאני דוגם הם כפי שהם ואין מערך הגנה רואה מייצב בקו שלילי. כדי להפעיל את מגבר השרת בצורה הספקה מהספק ראשי, יש צורך במתח דו-סבטי עם נקודת אפס. זה עוד יתרון של ספק כוח נוסף (זעיר).



כאן מוצג שרטוט חשמלי מלא של ספק כוח ליניארי כולל כל ההגנת שפורטו קודם. אסביר איך זה עובד. במצב של קצר במוצא יש צורך בכיבוי של שנאי מהרשת חשמל, על מנת שהמטען שקיים בקבל פילטר ירד חלקית או לגמרי. רק כך ניתן להחזיר את המעגל לתפקודו המלא. כאשר מדובר בהגנה סביב מתח המוצא כ-14 וולט, הרי דרוש מתח גבוהה יותר על מנת שהמגבר שרת יתפקד היטב. המוצא של שנאי TR1 מחובר למכפל מתח ולאחר סינון אני מקבל כ-21,5 וולט. בשלב זה נוח מאוד להשתמש במייצב מסוג LM317T כדי לקבל מתחי הפעלה של מערך הגנה של כ-18,5 וולט. וזה מה שספק משני מסוגל לתת. אם נשים לב כי מגבר שרת A1 דוגם מתח במבוא חיובי שלו ומתח ייחוס נכנס למבוא שלילי. מתח הייחוס הינו +15 וולט, ז"א שהמתח במוצא של הספק הראשי יעלה או יעבור את רמת מתח הייחוס, תופעל מערך הגנה של OVERVOLTAGE. במגב שרת שני A2 מתח ייחוס של +13 וולט נכנס למבוא חיובי. במצב של OVERLOAD, אם קורה מצב של צריכת זרם מוגברת מעבר 20 אמפר וזרם עולה בהדרגה, הרי שהמתח במוצא יתחיל לרדת, אם כי זה לא מצב של קצר והמשאב של טרנזיסטור ה-FET מאפשר להעביר זרם זרמים אף גבוהים מזה. במצב כזה המתח יתחיל לרדת וכאן גם כן יופעל מערך ההגנה. ציינתי כי לתפקוד טוב של המגברים דרוש מתח מעל למתחי דגימה וייחוס. בכל תקלה של הספק הראשי, מערך הגנה לא מושפע כלל ועובד כיחידה נפרדת.

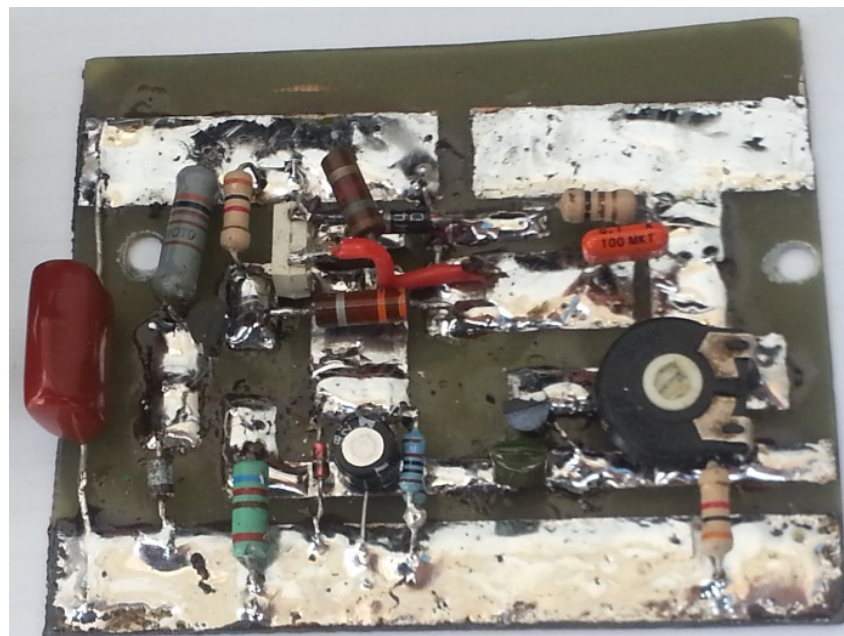
במוצא של כל מגבר שרת מחוברת דיודת הגנה נגד מתח חוזר. במוצא של מגברי שרת נמצאים שני מהפכים טרנזיסטוריים. כאשר קורה מצב של OVERVOLTAGE, במוצא של A1 יופיע מתח מקורב ל-18 וולט. מהפך ראשון בקולקטור שלו יתן בקולקטור שלו מתח מקורב ל-18 וולט (מדידה כלפי קו שלילי של ספק משני). רכיב העומס של המהפך השני הינו הדיודה של OPTOCOUPLER. נגד של 3,3K מזרים זרם שדרוש לפעולה תקינה של דיודה פולטת. היא תפתח את רכיב TRIAC של המצמד האופטי וזה יפעיל את BTA16-600B TRIAC שבעומס שלו נמצא ממסר KV1. הספקת מתח מופסקת מיד, ממסר ה-KV1 ינתק את מגע ה-K1a וההגנה תופעל. אותו סדר הפעולה יופעל במצב OVERLOAD או מצב של קצר חשמלי במוצא של הספק הראשי. כמובן שיש צורך בבדיקות

לאחר נפילת מתח. כדי להפעיל את הספק הראשי מחדש, יש צורך בלחיצה על לחצן START. הוא יקצר את מגע K1a, באותו זמן מגע K1b יסגר גם ויבטל את נגד השהיה 50R והמעגל יתחיל לעבוד מחדש. במצב של קצר חשמלי, תפעל הגנה של OVERLOAD כי מתח במוצא ירד מתחת ל- 13 וולט. במצב זה דרוש כיבוי כללי ואת השירות מקבלים בהקפין. זוג יחיד של מגעי NC בממסר KV2 עם נגד 10R משרת לפריקה מהירה של קבלי פילטר כדי להחזיר את המערכת להפעלה מחדש. בלי פריקה סופית של קבלי הפילטר לא ניתן יהיה להפעיל את הספק הראשי מחדש.

זה נכון שמערך הגנה כולל פי 2 ואף יותר רכיבים מאשר ספק הכוח הראשי עצמו, אך ההגנה קודמת לכל. קו הארקה מחובר לגוף מתכתי של הספק עצמו ובלבד. בשום פנים ואופן אין להעביר פלוס או מינוס דרך קו הארקה. את הקווים שבהם עובר זרם גדול יש להעביר עם מוליכים בעלי חתך של 4-6 מ"מ רבועי לפחות.



מערכת הגנה בנוייה (בתמונה מעל) וספק הכוח ראשי ללא טרנזיסטור FET.





בתמונה ספק מורכב, מכוון ועובד. מארז שבשימוש הינו ספק הכוח שרוף ומושבת של
מקלש YAESU.

מאי 2014.