انتقال انرژی ۲ فاز متناوب با دو سیم و زمین در شبکه‌های برقی روستائی

نوشته

پرویز ذواشتیاق

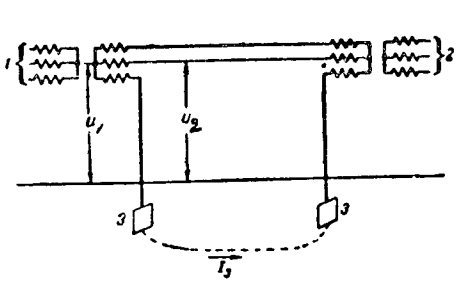
دانشیار دانشکده فنی

مقاله زیر از نقطه نظر تأمین برق قراء و قصبات دور افتاده که از لحاظ توان مصرفی چندان مهم نبوده و در ضمن خطوط ارتباطی تلفونی و تلگرافی پیچیده شهری را ندارند میتواند مورد مطالعه و مداقه علاقه‌مندان قرار بگیرد.

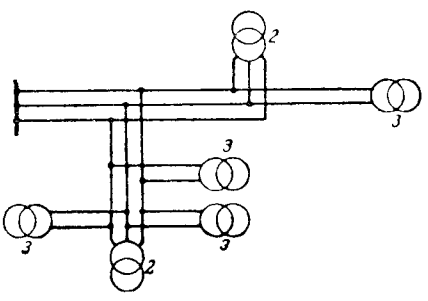
تأمین برق روستاها که از مراکز برق فاصله زیادی را دارند از برق از ۳ فاز متناوب چندان مقرون بصرفه نمی‌باشد زیرا برای مصرف کم ـ ایجاد شبکه ۳ فاز معمولی مخارجی دربر دارد و بهای واحد انرژی را زیادتر میسازد بهمین جهت دربعضی از کشورها پیشنهاداتی دراین باره بعمل آمده و دو سیستم زیر را مورد بررسی و طرح قرارداده‌اند.

۱ـ انتقال انرژی با دو سیم و زمین ـ چنانکه از ش (۱) دیده میشود از منبع تغذیه (۱) ترانسفورماتوری که یک سیم پیچی آن بزمین وصل شده خط انتقال انرژی را به دوسیم تبدیل نموده و بجای سیم سوم از زمین استفاده میشود. در قسمت مصرف (۲) ترانسفورماتور دیگری که باز یکفاز آن زمین شده است قرار دارد. الکترودهای ۳ زمینه را برای عبور جریان از زمین فراهم میسازند.

۲ـ انتقال انرژی باسیستم مختلط (۳ فاز ویک فاز) ش (۲) دراینجا نسبت به‌محلی که بار زیادی

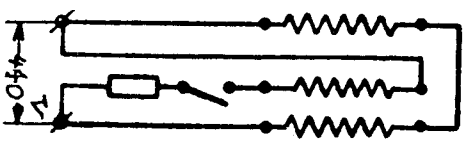


(ش ۱)



(ش ۲)

را دارد ترانسفورماتور ۳فاز ونسبت به‌محلی که‌بار کمتری رادارد ترانسفورماتور یکفاز بکار میبرند بطوریکه در شکل (۲) ترانسفورماتورهای(۲)جهت تغذیه مصرف کننده‌های پرتوان و کارخانه و ترانسفورماتورهای یکفاز جهت تغذیه مصرف کننده‌های کم قدرت و منازل روستائی بکار میروند (ترانسفورماتورهای ۳) خط اصلی تغذیه بفشار الکتریکی ۳۰—۱۰ کیلوولت بوده و ترانسفورماتورهای کم قدرت یکفاز ۳ سیمه ۲×۲۲۰ ولت میباشد (سیم وسط درطرف فشار پائین ترانسفورماتور بزمین وصل میشود). بارهای روشنائی‌را به سیم کناری وسیم وسط وبارهای موتوری را به دوسیم کناری وصل میکنند و ترانسفورماتورهای پائین‌بر را در نزدیکی مصرف قرارمیدهند. معمولاً ترانسفورماتورهای‌یکفاز KVA ۱۵—۵ میباشند که‌میتوانند موتورهای KW ۲ را تغذیه‌نمایند. از ترانسفورماتورهای‌یکفاز میتوان موتورهای آسنکرون ۳ فاز را تغذیه‌نمود بطوریکه برای‌راه اندازی موتور آسنکرون به یکی از فازهای آن خازن یا مقاومت آکتیو بسته و پس از راه‌اندازی این فاز را باکلیدی از مدار قطع میکنند ش (۳).



(ش۳)

در این نوع انتقال انرژی در حدود ۵۰ درصد صرفه جوئی به فلز و ۱۰—۱۵ درصد تقلیل بهای شبکهٔ را خواهیم داشت - چون انتقال‌انرژی با سیستم مختلط از نقطه‌نظر محاسبات باسیستم ۳ فاز فرقی‌ندارد بهمین جهت درباره سیستم‌انتقال دوسیمه + زمین نکات چندی‌راکه بایستی درمواقع طرح بررسی نمود شرح میدهیم :

۱- مقاومت آکتیو زمین برای عبور جریان از اعماق زمین در حدود ۰٫۵Ω/Km میباشد که میتوان آنرا با مقاومت سیم مسی بمقطع ۴۰۰mm² یکسان دانست بنابراین امکان استفاده زمین بجای سیم هوائی خط انتقال کاملاً منطقی بنظر میرسد.

۲- اگرزمین بعنوان ناقل جریان مورد استفاده قرارگیرد وسائل کیم کشی $\frac{1}{3}$ تقلیل یافته وبادرنظر گرفتن همان استقامت مکانیکی برای حالت ۳ فاز میتوان فاصله بین پایه‌های خط انتقال را زیادتر ساخت و ازاین حیث ۱۰—۲۰ درصد صرفه‌جوئی در پایه‌ها را داشت بعلاوه بانبودن فاز سوم تعداد عایقها ومقره‌ها و بستهای مربوط خط انتقال کم گشته باندازه ۴۰—۴۵ درصد صرفه‌جوئی در عایقها میگردد.

۳- استفاده اززمین بعنوان‌هادی درفشارهای مختلف‌دستگاههای تغذیه کننده‌مثلاً در ۳۰ کیلوولت و همچنین در شبکه‌های مصرف کننده (۱۰)—(۶) کیلوولت میتواند عملی گردد.

۴- در شبکه‌های‌الکتریکی بدون سیم خنثی‌معمولاً عایقها تحت‌فشار الکتریکی فازی نسبت بزمین کار میکنند در صورتیکه در سیستم دوسیمه + زمین چون یکی از فازها بزمین متصل گشته است در حالت عادی‌عایقهای دوفاز دیگر تحت‌فشار الکتریکی‌خطی نسبت‌بزمین قرار میگیرند که $\sqrt{3}$ مرتبه‌از حالت ۳سیمه

بیشتر میباشد. این ازدیادفشار برای عایقهای پایه های خط انتقال چندان مانعی ندارد درصورتیکه در ژنراتورها و موتورها هرگز امکان بالابردن فشار الکتریکی را نداریم و اگر مولد ویا موتور فشار قوی داشته باشیم نمیتوانیم مستقیماً آنهارا به سیستم دوسیمه + زمین متصل نمائیم مگر اینکه از ترانسفورماتور مجزا کننده‌ای استفاده نمائیم.

۵- یکی از معایب اساسی این سیستم (دو سیمه + زمین) تأثیر آن در خطوط ارتباطی تلفن و تلگراف میباشد که از تأثیر سیستم ۳سیمه خیلی بیشتر است زیرا در سیستم ۳ سیمه وقتی جریانی در زمین ایجاد میگردد که اتصال یکی از فازها بزمین باشد درصورتیکه در سیستم دوسیمه + زمین همواره جریانی از زمین عبورمیکند واثرات آن روی خطوط ارتبال بطور دائم است و در واقع درطرح این نوع شبکه این مسئله اساسی را بایستی در مد نظر گرفت.

۶- مقاومت آکتیو واندوکتیو زمین نسبت بمقاومت سیمهای دوفاز دیگر فرق میکند بنابراین افت فشار درسیستم دوسیمه + زمین (حتی دربار متقارن) در فازها مختلف بوده و درنتیجه درآخر این نوع شبکه ولتاژ غیر سیمتریک فازی مصرف بوجود میآید درصورتیکه ولتاژهای تغذیه کاملاً سیمتریک میباشند. البته این مسئله را نیز میتوان جزو معایب این نوع شبکه محسوب نمود ولی چندان مهم نمی‌باشد زیرا در انتخاب مقاطع سیمها میتوان افت فشار را تا ۱۰ درصد انتخاب نمود وغیرمتقارن بودن ولتاژ دراین نوع شبکه ۱ تا ۲ درصد میباشد که قابل اغماض است واین عدم تقارن چندان تأثیری درکار مصرف نخواهد داشت.

۷- اگر شبکه دوسیمه + زمین از منبع قوی تغذیه گردد ایجاد زمین مصنوعی از نقطه نظر حفاظت اشکالات زیادی را دربر دارد وشایددر بعضی از موارد مخارج ایجادزمین مصنوعی خوب بیشتر از صرفه‌جوئی سیم سوم گردد بهمین جهت در طرح این نوع شبکه این مسائل را بدقت بررسی میکنند. بعلاوه سیستم دوسیمه + زمین را همواره توسط ترانسفورماتورهائی به شبکه ۳ فاز سیمه متصل میکنند. زیرا درغیراینصورت یکی از فازهای سیستم ۳ فاز ۳ سیمه بزمین متصل خواهد شد.

۸- در سیستم دوسیمه + زمین کابل زمینی بکار نمی‌برند زیرا مجموع جریانهای فازها صفر نشده و جریان منتجه‌ای بوجود میآورد که افت توان زیادی را در غلاف کابل ایجاد نموده و آنرا گرم خواهد کرد بعلاوه عایق کابل در تمام مدت کار تحت فشار خطی که باندازه $\sqrt{3}$ بیشتر ازفشار فازی است قرار گرفته و این عمل باعث خرابی کابل خواهد شد.

۹- مقاومت آکتیو حلقه سیم + زمین ازمقاومت آکتیوسیم و مقاومت آکتیو زمین برای عبور جریان و همچنین مقاومت آکتیو الکترودها ایجاد شده که در دو انتهای خط انتقال قرار دارند (ش ۱) - چنانکه میدانیم مقاومت آکتیوسیم بستگی به مقطع وطول وجنس آن داشته وطبق فرمول معمولی میتوان آنرا تعیین نمود. درصورتیکه مقاومت آکتیو زمین بستگی به نوع زمین وچگونگی عبور جریان از طبقات تحت‌الارضی دارد. معمولاً عبور جریان ازعمق زیاد بوده وتغیرات مقاوت زمین چندان زیاد نمی‌باشد و میتوان بطور متوسط آنرا ۰٫۵ Ω/Km محسوب نمود. مقاومت زمین مصنوعی را از شرائط کار انتخاب میکنند بطوریکه افت فشار

الکتریکی در آن نباید از ۵۰ ولت تجاوز نماید بدینطریق در حالت عادی مقاومت زمین مصنوعی از رابطه اهم خواهد بود:

$$R_T = \frac{50}{I_{max}}$$

I_{max} شدت جریان ما گزیمم کار در حالت عادی میباشد درمواقع سانحه و اتصال کوتاه جریانی از محل اتصالی بزمین عبور میکند که خیلی زیادتر از حالت معمولی کار میباشد از این نقطه نظر شبکه ها را بدو نوع درجه بندی میکنند:

۱- باجریان اتصالی زیاد که در شبکه های بیشتر از یک کیلوولت که جریان اتصالی بیش از ۵۰۰ آمپر است.

۲- باجریان اتصالی کم که جریان اتصالی کمتر از ۵۰۰ آمپر میباشد.

معمولاً در شبکه های باجریان اتصالی کم (کمتر از ۵۰۰ آمپر) مقاومت زمین مصنوعی نبایستی بیشتر از ۱۰Ω (تا توان ۱۰۰KVA ترانسفورماتور) و بیشتر از ۴Ω برای توانهای بیشتر باشد.

درشبکه های باجریان اتصالی زیاد (بیش از ۵۰۰ آمپر) بدون اینکه توان مرکز فرعی (سوستاسیون) را منظور نمائیم این مقاومت تا ۰٫۵ اهم میباشد.

درسیستم دوسیمه + زمین حالت عادی کار و سانحه را در نظر گرفته و حالتی را که مقاومت کمتری را دارد انتخاب میکنند.

۱۰- مقاومت اندوکتیو حلقه سیم + زمین تقریباً دو برابر مقاومت اندوکتیو یک سیم میباشد. مقاومت اندوکتیو برای عبور جریان از زمین تاحدی بستگی به قابلیت هدایت طبقات زمین دارد و بین ۰٫۵ Ω/Km - ۰٫۳۶ تغییر یافته وبطور متوسط میتوان آنرا ۰٫۴۳Ω/Km محسوب نمود که تقریباً همان مقاومت اندوکتیوسیم خطوط انتقال انرژی ۳ فازه میباشد.

۱۱- مقاومت آکتیو و اندوکتیو حلقه سیم + زمین در حالت اتصالی یکی از فازها بزمین لازم میباشد ولی درمحاسبات رژیم عادی این مقاومتها چندان ضروری نیست ودرصورتیکه بخواهیم محاسبات دقیق تری را انجام دهیم مقاومت آکتیو (r_e) و اندوکتیو (x_e) مسیر جریان در زمین را منظور خواهیم کرد.

محاسبه سیمهای سیستم دوسیمه + زمین :

افت فشار خطی در خطوط انتقال این سیستم از فرمول زیر یعیین میشود.

$$\Delta V = \sqrt{3} I l \ (r_0 \cos\varphi + x_0 \sin\varphi)$$

r_0 , x_0 مقاومتهای آکتیو و اندوکتیو سیمها برای واحد طول میباشد Ω/hm

l - طول خط به کیلومتر φ اختلاف فازبین جریان و فشارالکتریکی است.

افت فشار الکتریکی در فاز زمین شده معمولاً کمتر از سایر فازهاست و انتخاب مقاطع سیمها عیناً مثل حالت ۳فاز ۳سیمه میباشد. اگر بخواهیم افت فشار فاز زمین شده را تعیین کنیم از فرمول زیر استفاده خواهیم کرد:

$$\Delta V_t = \sqrt{3} I l \ (r_{ot} \cos\varphi + x_{ot} \sin\varphi)$$

که در آنجا r_{oT} , x_{oT} مقاومت آکتیو و اندوکتیوسیم خط (r_o , x_o) ومقاومت مسیر جریان در زمین r_e , x_e میباشد بطوریکه:

$$r_{oT} = \frac{1}{3}(r_o + 2r_e)$$

$$x_{oT} = \frac{1}{3}(x_o + 2x_e)$$

در فاز زمین‌شده علاوه از افت فشار الکتریکی در زمین افت‌فشار در الکترودها نیز هست که‌چندان قابل اهمیت نمی‌باشد و میتوان از این افت فشار الکترودها در محاسبات عملی صرفنظر نمود.

در محاسبات دقیق بخصوص در تعیین غیر تقارن فشارهای الکتریکی در انتهای خط انتقال‌سیستم دو سیمه + زمین افت فشار الکترودها را نسبت بفشار خطی از فرمول زیر تعیین میکنند:

$$\Delta V_{T'} = 1.16 I_{max} R_{T'}$$

$R_{T'}$ - مقاومت الکترودها.

I_{max} - مقدار ماگزیمم جریان کار میباشد.

مقررات اجرائی زمین مصنوعی سیستم دوسیمه + زمین:

مقاومت زمین‌مصنوعی دراین شبکه درحالت سانحه که‌شدت جریان‌اتصالی آن‌زیاد میباشد نبایستی از ۰.۵ اهم تجاوز نماید. درجدول زیر توان ترانسفورماتورهای‌مراکز فرعی این‌نوع شبکه درفشارهای مختلف داده میشود که جریان اتصالی آنها از ۵۰۰ آمپر تجاوز نمیکند.

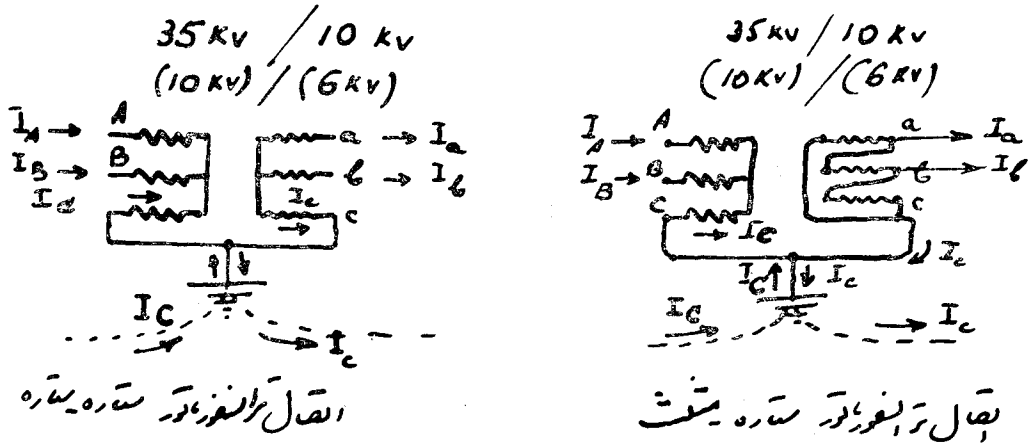
مرکزتغذیه که بآن شبکه دوسیمه + زمین متصل گشته است	توان مرکز فرعی به KVA شبکه تغذیه کننده‌سیستم دوسیمه + زمین در فشارهای:		
	۶KV	۱۰ KV	۳۵ KV
مرکز برق روستائی	۱۸۰۰	۳۲۰۰	۱۰۰۰۰
سیستم برقی باقدرت زیاد	۳۲۰	۵۶۰	۱۸۰۰

در شبکه دوسیمه + زمین با جریان اتصالی کم (کمتر از ۵۰۰ آمپر) مقدار مقاومت الکترودها نسبت به‌حالت عادی و سانحه تعیین میشود.

در جدول صفحه بعد مقدار مقاومت الکترودها دراین نوع شبکه در فشارهای مختلف و توانهای مختلف مراکز فرعی با درنظرگرفتن رژیم عادی وسانحه داده میشود:

توان ترانسفورماتور مرکز فرعی به kvA	مقاومت الکترودها به (Ω) در فشارهای:		
	V=۶kv	V=۱۰kv	V=۳۵kv
۶۰	۱۰	۱۰	۱۰
۱۰۰	۶	۱۰	۱۰
۳۲۰	۱٫۶	۲٫۵	۴٫۰
۵۶۰	۱٫۰	۱٫۵	۴٫۰
۱۰۰۰	۰٫۵	۱٫۰	۳٫۰
۳۲۰۰	—	—	۱٫۰
۵۶۰۰	—	—	۰٫۵

از نقطه نظر استقامت حرارتی مقاومت الکترودها نبایستی بیشتر از $R_T=\frac{۱۴۷\alpha}{I_{max}}$ باشد در این فرمول گرم‌شدن‌دائمی الکترود را از جریان ماگزیمم درنظر گرفته وحالت سانحه زودگذر را نیزمنظور میکنیم α ضریبی است که‌همان گرمای اضافی‌را درنظر میگیرد ضریب α بین ۳٫ تا ۱ تغییر میکند که بستگی‌به‌نسبت جریان ماگزیمم کار وسانحه وطول مدت سانحه‌دارد اگر زمین بعنون ناقل جریان در چندین فشار الکتریکی بکار رود درتمام‌موارد بهتراست که‌فاز سوم ترانسفورماتوررا بزمین‌وصل نمائیم. درحالت دوفشار الکتریکی مختلف فقط یک زمین مصنوعی بکار میبرند.



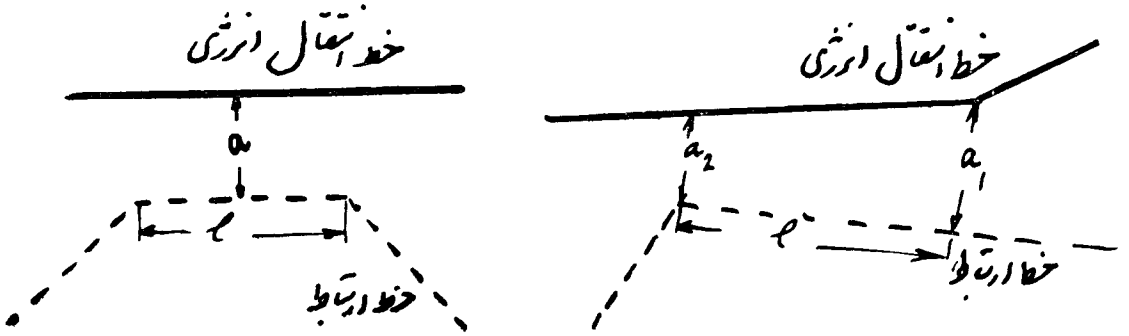
ش ٤

دراین حالت (ش٤) چون جریانهای الکترودهای‌طرف فشار پائین وبالا مخالف‌هم میباشند مقدار جریان کل الکترود کم‌میشود بطوریکه‌در ترانسفورماتور بشکل‌ستاره‌ستاره بفشار الکتریکی ۳۵/۱۰ کیلوولت باشد تقلیل جریان کل‌الکترود ۲۸ درصد واگر اتصال‌ترانسفورماتور به فشار ۱۰/۶ کیلوولت‌باشد این تقلیل به ۵۹ درصد میرسد.

اگر ترانسفورماتور بشکل ستاره مثلث بفشار الکتریکی ۳۵/۱۰ کیلوولت باشد این تقلیل ۲۳ درصد و در فشار الکتریکی ۱۰/۶kv به ۴۱ درصد میرسد.

اثرات خطوط انتقال انرژی دوسیمه + زمین به خطوط ارتباط - درصورتیکه خطوط ارتباطی از مجاورت خطوط انتقال انرژی از تأثیر حوزه‌های الکتریکی و الکترو مقناطیسی خطوط انتقال به خطوط ارتباطی در آنها نیروی محرکه‌ای القاء میگردد ممکن است جریانهائی ایجاد شود که کار خطوط ارتباط را مختل سازد معمولاً تأثیر الکترو مقناطیسی خطوط انتقال را علیحده بررسی میکنند و میتوان این اثرات را مهلک و یامختل کننده نامید - اثرات مهلک عبارتست از حالتی که جریان و یا نیروی محرکه القائی در خطوط ارتباط برای سلامتی اشخاص و کارکنان و همچنین دستگاههای ارتباطی خطرناک باشد اثرات مختل کننده حالتی است که‌جریان و نیروی محرکه‌القائی اختلالی درکیفیت ارتباط ایجاد نماید (صدا درتلفون - تغیرشکل علائم تلگراف وغیره).

اثرات درقسمتهائی که خطوط ارتباط وانتقال انرژی بهم‌نزدیک میشوند بوجود میآید. این‌نزدیک شدن ممکن است بشکل موازی بعرض (α) و یا کج بعرض $\sqrt{a_1 a_2}$ باشد (ش ۵).



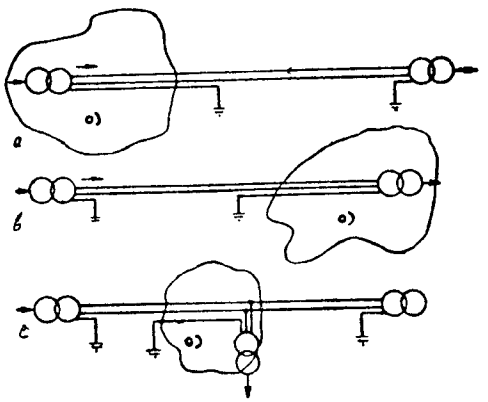
(ش ۵)

اثرات الکترو مقناطیسی متناسب با مقدار جریان خط انتقال انرژی فرکانس آن وطول مجاورت و ضریب القاء متقابل بین خط انتقال و خط ارتباط میباشد - ضریب القاء متقابل بستگی به مقاومت زمین (با ازدیاد آن زیادتر میشود) و عرض مجاورت دارد (با ازدیاد آن کم میشود).

اثرات الکتروستاتیکی متناسب بافشار خط انتقال انرژی و طول مجاورت میباشد بعلاوه به عرض مجاورت نیز بستگی داشته (با ازدیاد آن کم میشود) و همچنین متناسب با ارتفاع متوسط سیمهای خطوط انتقال نسبت بسطح زمین میباشد (با ازدیاد ارتفاع کم میشود).

درصورتیکه سیستم دوسیمه + زمین از مراکزی عبور نماید که شبکه تلفونی داشته باشد در این مراکز شبکه را مبدل به ۳ سیمه نموده و پس از خروج از محل مزبور دوباره بشکل دوسیمه+ زمین انرژی را منتقل میسازند (ش۶).

در صورتیکه در فاصله بین دومرکز فرعی مرکزی برای تغذیه قصبات داشته باشیم از (ش۷) در انتقال انرژی استفاده میکنند.



a - مرکز فرعی تغذیه کننده

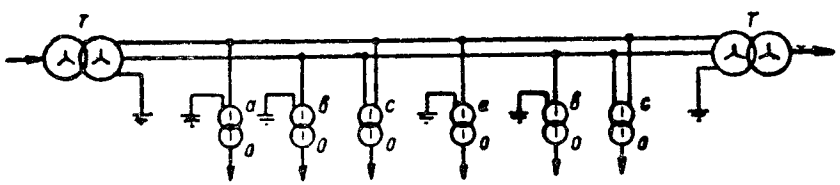
b - مرکز فرعی انتهائی خط انتقال

c - مرکز فرعی انشعابی ازخط انتقال

(ش٦)

در خاتمه میتوان درباره انتقال انرژی با دوسیمه + زمین نکات زیر را گفت:

۱- این سیستم فقط برای تأمین برق روستاهای دور افتاده با بارکم دارای شبکه تلفونی و تلگرافی ساده بکار میرود بطورمثال استفاده ازاین شبکه رامیتوان درشوروی ذکرنمود که فعلاً بیش از ۸۰۰۰ کیلومتر تا فشار ۳۵ کیلو ولت مشغول کار میباشد.



(ش۷)

۲- زمین کردن ترانسفورماتورها و حفاظت از برق زدگی مطالبی است که دقیقاً بایستی بررسی شود مقاومت مخصوص خاك و وضع قرارگرفتن مرکز فرعی نسبت بمحل های سکونت ومیزان مخارج ایجاد زمین مصنوعی برآورد میگردد و درصورتیکه از نقطه‌نظر اقتصادی قابل قبول باشد اجرا میشود.

۳- تقلیل اثرات مهلك و مختل کننده سیستم دوفاز + زمین به خطوط ارتباط توسط فیلترهای مخصوصی که در خطوط ارتباط گذاشته میشود عملی میشود و ممکن است مطالب فوق را دربحث دیگری مورد مطالعه قرار بدهیم.