بهبود تنظیم ولتاژ درخطوط توزیع انرژی الکتریکی

Improvment of Voltage regulation in LV distributors

رضاقاضی
استادیاردانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد

۱ - چکیده

دراین مقاله نشان داده شده است که درخطوط توزیع انرژی‌الکتریکی بخصوص درمناطق روستایی (rural areas) که دراین مناطق شبکه توزیع مانند جمعیت پراکنده است بواسطه توزیع نابرابر باربین سه فاز ، تنظیم یارگولاسیون ولتاژ دربعضی ازخطوط توزیع L.V خارج ازمحدوده مجاز خواهد بود ازآنجائیکه ازنیازمندیهای اساسی سیستم توزیع ، تحویل برق باکیفیت خوب به مشتریان است ، تغییرات ولتاژ خارج ازمحدوده مجاز (مثلا" ۶٪ ±) منجر به سطح ولتاژ غیرقابل قبول برای مصرف کننده های تکفاز می گرددوبدین ترتیب کیفیت تغذیه کاهش یافته وموجب نارضائی مشتریان واقع برروی آن خطوط توزیع می گرددبنابراین بایستی موءسات تولید کننده برق ، بمنظور فراهم کردن برق باکیفیت بهتر دراینگونه مواردا قداماتی درجهت بهبود تنظیم ولتاژ انجام دهند تابدینوسیله تغییرات ولتاژ کاهش یافته ودرمحدوده تغییرات مجازقرارگیرد.
درطی این مقاله نشان داده شده است که بانصب متعادل کننده ترانسفورماتوری (Static transformer - type balancer) درمحلی ازخط توزیع چهارسیمه ، تنظیم ولتاژ بهبود ونامتعادلی ولتاژ هاکاهش می یابد . اما ، این نوع تصحیح کننده ولتاژ دارای تلفات ژولی وهسته‌ای بوده وبعلاوه اغلب بایستی بارگولاتور ولتاژ ترکیب گرددتا مجموعا" قادرگردند که ولتاژ راتصحیح نمایند ازاینرو ، طرح جدیدی ازتصحیح کننده ولتاژ که درآن ازجبران کننده راکتیو استاتیک(SVC) ازنوع خازن تایریستور سوئیچ / راکتورتایریستور سوئیچ TSC / TSR استفاده گردیده وبامیکروپرسسور کنترل میشود پیشنهاد می گرددا ین نوع تصحیح کننده ولتاژ مدرن وبدون تلفات می تواند جایگزین ترکیب متعادل کننده ترانسفورماتوری ورگولاتور ولتاژ گردد . رفتار تصحیح کننده بطور تحلیلی مطالعه شده وپس ازساخت نقش آن دربهبود تنظیم ولتاژ درآزمایشگاه آزمایش گردیده است نتایج بهبود قابل ملاحظه‌ای رانشان میدهد.

۲ - مقدمه

دریک‌سیستم توزیع ، ترانسفورماتورهای توزیع که درطول خطوط تغذیه ولتاژ بالا (H.V.Feeder) اتصال دارند ، ازطریق خطوط متعددولتاژ پائین (L.V.distributor) مصرف کننده های مختلف رامطابق شکل ۱ تغذیه می نمایند . پروفایل ولتاژ نمونه سیستم‌توزیع ازپست اولیه تاانتهای خط توزیع L.V برای شرایط تمام باروبدون باردرشکل ۲ نشان داده شده است .

برای اینکه ولتاژ درمحدوده مجازیاقانونی (مثلا" ۶٪ ±) نگاهداشته‌شود ، لازم است وسایل کنترل ولتاژ بکارگرفته شود تاهنگامیکه ولتاژ خیلی زیاداست کاهش ووقتی ولتاژ خیلی پائین است افزایش داده شود وسایل کنترل ولتاژ موجود درشبکه های توزیع ، قرارزیراست :

۱ ـ کنترل ولتاژ اتوماتیک (AVC) ترانسفورماتورهای سیستم
۲ ـ تنظیم تپ ترانسفورماتورهای توزیع

سطح ولتاژ درشبکه توزیع‌بواسطه رگولاسیون ترانسفورماتور، افت ولتاژ درخط تغذیه (فیدر) یاخط توزیع وبارهای نامتعادل واقع برخط توزیع ، پیوسته کاهش می یابد .
تغییرات ولتاژ رامی توان باانتخاب یک تپ (TAP) ثابت ترانسفورماتور توزیع ویک تنظیم (Setting) مناسب ولتاژ وسیله کنترل ولتاژ اتوماتیک ، تصحیح نمودا ما ، علی‌رغم بکارگرفتن چنین وسایل کنترل ولتاژی ، باهای‌نامتقارن (که به میزان زیادی نامتقارن هستند) واقع برروی تعدادی خطوط توزیع LV درسیستم توزیع مناطق روستایی ، منجر به ایجاد ولتاژ خارج ازمحدوده مجاز (مثلا" ۶٪ ± ۲۲۰) ودرنتیجه نارضایتی وشکایت‌مشتریان واقع برروی این خطوط می گردد.البته دلیل چنین تغییرات ولتاژ این است که بارهای نامتقارن افت ولت رادرخطوط توزیع تشدید می نمایند . براساس یک روش نیمه تجربی نشان داده می شود که برای یک دستگاه بار نامتقارن Ia و Ib و Ic وضریب توان واحد ، افت ولت درفازی که بیشترین جریان باررا حمل می کند ، به اندازه (1+4.14U) ازافت ولت درهنگامیکه همین باردرشرایط متقارن تغذیه میشود بیشتراست U ضریب عدم تقارن است وبوسیله رابطه زیر تعریف‌میشود :

$$U = In / 3Im$$

که درآن Imمقدار میانگین جریان سه فاز و In جریان سیم نول می باشد چارت نشان داده درشکل ۳ که ازیک خط توزیعی که ازترانسفورماتور 50 KVA تغذیه میشود ، برداشته شده است نشان میدهدکه درحوالی ساعت ۷ صبح وبین ۷ تا ۸ بعدازظهر ولتاژ یکی ازفازهاخیلی کمتر ازسطح مجازوولتاژ دوفازدیگر قدری بیشتر ازسطح مجاز قرارمی گیرد.
بنابراین بایستی ولتاژ چنین خطوط توزیعی بانصب کردن وسایلی ، تصحیح‌گرددالبته واضح است که می توان تنظیم ولتاژ رادرچنین خطوط توزیعی بامحکم کردن (Strengthen) خطوط تغذیه یاخطوط توزیع بهبود دادما ااین روش درمقایسه بانصب وسایل اضافی اقتصادی نخواهدبود .
درقسمتهای بعدی شیوه تصحیح ولتاژ ، بااستفاده ازمتعادل کننده ترانسفورماتوری سنتی ومتعادل کننده پیشنهادی تشریح می گردد.

۳ ـ تصحیح کننده ولتاژ (یامتعادل کننده ولتاژ) ترانسفورماتوری
(Static - Transformer type balancer)

این نوع تصحیح کننده ولتاژ درحقیقت یک اتوترانسفورماتوریک به یک ا ست وازنظرساختمان مشابه ترانسفورماتورقدرت نرمال است . دارای یک هسته سه فازمعمولی است که برروی هربازوی آن دوسیم پیچی قراردارد وبه روش ستاره بهم پیوسته ، متصل گردیده‌اندبنابراین درمجموع یک سیم پیچی سه فازی راتشکیل می دهند که انتهای آن ترمینالهایی جهت اتصال دادن به خطوط ، گرفته شده است همچنین ازنقطه خنثی ترمینالی‌جهت اتصال به خط نول گرفته شده است . عایق آن ممکن است هوا یاروغن باشد دیاگرام شماتیک آن درشکل ۴ نشان داده شده است باتوجه به جریان حاصل ازنامتقارنی که ازنول عبورمی کند ، ازشکل ۴ ملاحظه می شود که دوسیم پیچی واقع برروی هربازودرجهت مخالف هم بوده وامپدانس قابل اغماضی راارائه می کنندطوریکه جریان سیم نول بطور مساوی بین سه خط

تقسیم می شود ازنقطه نظرمولفه های متقارن ، مولفه توالی صفر جریان بین بارومتعادل کننده سیر - کوله میشود بنابراین مولفه توالی صفرجریان (که ازسیم نول عبور می کند) ازسه خطتغذیه که به متعادل کننده منتهی میشوند ، حذف می گردد(شکل ۵) درنتیجه منجر به کاهش افت ولت درخطوط وبهبود تنظیم ولتاژ می گردد ازاین وسیله می توان جهت بهبود ولتاژ درخطوط توزیع طویل استفاده کردوازشکایت مشتریان ممانعت نمود.

جهت بررسی نقش این نوع تصحیح کنندهو لتاژ ، خط توزیع LV شکل ۶ راکه سیستم سه فاز - ۴ سیمه V ۴۳۳ است وبارنامتقارن (باراهمی ۵۰ آمپر تکفاز) راتغذیه می کند ، درنظرمی گیریم سیستم سه فازنامتقارن رابطور دقیق می توان به کمک روش مولفه های متقارن موردتجزیه وتحلیل قراردادامابه روش ساده تری نیزامکان پذیراست که این روش درمرجع ۲ آمده است .

براساس این روش وبه کمک شکل ۵ نقش متعادل کننده ۵۰ آمپری راکه درانتهای خط تغذیه نصب شده است موردمطالعه قرارمی دهیم .

لازم به تذکراست که ازنظر مقادیر نامی ولتاژ متعادل کننده ترانسفورماتوری دارای ولتاژ نامی خطتغذیهLV است وازنظر جریان نامی برحسب حداکثر جریان نول بیان می گرددودارای مقادیرنامی ۵۰ آمپر ، ۷۰ آمپر و۱۰۰ آمپراست .

فرض میشود که هرخط تغذیه دارای مقاومت ۰/۴۹۴ اهم است ومتعادل کننده دارای مقاومت ۰/۱۶ اهم درهرفازاست نتیجه این مطالعه درجدول ۱ آمده است ونشان میدهدکه تنظیم ولتاژ بطورقابل ملاحظه‌ای بهبود پیداکرده است .

ازآنجائیکه سیم پیچی‌های این نوع متعادل کننده همواره حامل جریان هستند، درمعرض تلفات I^2R قراردارند واین ازمعایب عمده این نوع متعادل کننده است .

همچنین درمعرض تلفات هسته نیزقراردارند بعلاوه دربهبود تنظیم ولتاژ ، اغلب لازم است این نوع متعادل کننده رابارگولاتور ولتاژ ترکیب نمود به‌ا ین معنی که تغییرات وسیع ولتاژ درخط توزیع طویل LV بانصب یک رگولاتور ولتاژ ویک متعادل کننده قابل بهبود است .

۴ - تصحیح کننده ولتاژ (متعادل کننده ولتاژ) راکتیو TSR / TSC

دراینجا منظور طراحی تصحیح کننده ولتاژی است که درآن ازنوعی جبران کننده راکتیواستاتیک (Static Var compensator) استفاده‌گردیده وبطوراتوماتیک تغییرات غیرقابل قبول ولتاژ راکنترل نموده وآنرادرمحدوده تغییرات مجازقرارمی دهدچنین وسیله‌ای‌دارای هزینه کم وتلفات کم بوده‌ومی تواندجایگزین ترکیب رگولاتور ولتاژ ومتعادل کننده ترانسفورماتورگردد.

همانطوریکه شکل ۷ نشان میدهدبمنظور تنظیم ولتاژ هرفاز یک خازن (یابانک خازن) ویک راکتور (بانک راکتور یاراکتور باچند سیم پیچی) لازم است درهنگامی که ولتاژ خیلی پائین است مقدارلازم - خازن به فازسوئیچ میشود وبه هنگام بالابودن ولتاژ مقدارلازم راکتوربه فاز سوئیچ میشود ازآنجائیکه پائین بودن ویابالابودن همزمان سه فازبه ندرت اتفاق می افتدوعموما" بالابودن ولتاژ یک فازوپائین بودن فازدیگر ویاپائین بودن یک فا زوبالابودن دوفازدیگر (که این بدترین حالت است وهمانطوریکه - جدول۱ نشان میدهدحالت اخیر مربوط به وقتی است که فقط سیستم سه فاز بارتکفاز راتغذیه می نماید) درعمل پیش می آیدبنابراین بمنظوراقتصادی تربودن طرح ، طرح شکل ۸ پیشنهادشده است که درآن از سوییچ کردن تایرستوری خازن وراکتوراستفاده شده است براساس مطالعه تحلیلی برروی خط تغذیه شکل ۶ نشان داده شده است که چنین وسیله‌ای قادراست تنظیم ولتاژ رابهبود دهدنتایج چنین مطالعه‌ای درجدول ۲ نشان داده شده است این نتایج همچنین نشان میدهدوقتی که امپدانس سیستم ازدیدگاه نقطه نصب تصحیح کننده ولتاژ بیشتراست ،مقادیر نامی خازن وراکتورکاهش می یابددرصورتیکه این امپدانس کوچک باشدپیشنهادمیشود که باسری کردن‌راکتورباتصحیح کننده ولتاژ ، آنراافزایش دادیک مقدارنمونه امپدانس می توانددرحدود۵ الی ۱۰ درصدمقدارنامی باراباشد.

طرح نشان داده شده درشکل ۸ به کمک سیستم کنترلی که درشکل ۹ بصورت بلوک دیاگرام نشان داده شده است بطور اتوماتیک ولتاژ رادرسه فازتصحیح می کندسیستم کنترل دیجیتال این نوع تصحیح کننده

ولتاژ شامل مدار اندازه گیری ، مدار آتش کردن تایریستورها ، مدار تشخیص دهنده لحظه سوئیچ کردن خازن ومیکروپرسور 6502 است به کمک برنامه ذخیره شده هنگامیکه ولتاژ هرفازازحد مجاز خارج میشود برحسب اینکه ولتاژ خیلی بالایاخیلی پائین باشد به تایریستورهای مربوطه فرمان داده میشود ، که راکتوریاخازن رابه فاز مربوطه سوئیچ نمایند مدارتشخیص دهنده لحظه سوئیچ کردن خازن (که دردیاگرام بصورت مداراندازه گیری Vs-Vc نشان داده شده است .) به لحاظ اینکه سوئیچ شدن خازنهابدون ترانزنیت انجام گیرد حائز اهمیت است وبرای این منظور مدار خاصی پیشنهاد شده است .

برای سوئیچ کردن راکتور نقطه صفرولتاژ تشخیص داده میشود وپس از ½ سیکل تاءخیرعمل سوئیچ انجام میشود .
فتوگراف چنین تصحیح کننده ولتاژی درشکل ۱۰ نشان داده شده است نقش این نوع تصحیح کننده ولتاژ برروی یک سیستم سه فازدرآزمایشگاه مطالعه گردیده است ونتایج آن موافق بانتایج تحلیلی است .

۵-نتیجه

نتایج تحلیلی نشان میدهدکه تصحیح کننده‌ولتاژی که براستفاده ازجبران کننده نوع خازن تابریستورسوئیچ - راکتور تابریستور سوئیچ (TSR/TSC) استواریاشد ، قادراست که تنظیم ولتاژ رادرسه فازدرخطوط تغذیه بهبود بخشد بدنبال این نتیجه این نوع تصحیح کننده ولتاژ که تحت کنترل میکروپرسوربطور خودکارعمل می کند ساخته ونقش آن آزمایش گردیده است نتایج آن بانتایج تحلیلی موافقت دارد این نوع تصحیح کننده ولتاژ جدید درمقایسه بانوع قدیمی ترانسفورماتوری ارزانتر ، اتوماتیک ودارای تلفات بسیارکمتری است وبه تنهائی می تواند نقش ترکیب تصحیح کننده ولتاژ ترانسفورماتوری ورگولاتور ولتاژ راایفاء نماید.

۶ - منابع وماءخذ

1- COOPER,C.B.

"Thyristor Switched reactors for distribution systems"

IEE Technical seminar on control of reactive compensation for ac

power system, 1980.

2- FRANKLIN, A.C.

" The J and P transformer book"

Butterworth and Co.Ltd, London , 11 edition, 1983

HARRISON, D.H.

" Voltage unbalance on rural systems"

Power Engineering Journal May 1987

4-GOOSEN, P.V.

" FC - TCR type static compensator in ESCOM'S 132 KV network.

CIGRE paper NO. 38-09, 1984

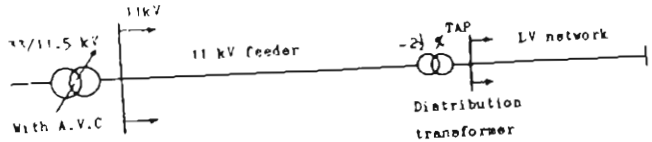
خط توزیع با حضورتصحیح کننده ولتاژ	خط توزیع درغیاب تصحیح کننده ولتاژ	کمیت
ولت ۲۳۱/۱	ولت ۲۰۰/۷	Va n
ولت ۲۴۷/۲	ولت ۲۶۳/۲	Vb n
ولت ۲۴۷/۲	ولت ۲۴۳/۲	Vc n
آمپر ۱۵/۴۱		It
آمپر ۳/۷۵	آمپر ۵۰	In
ولت ۱/۸۴	ولت ۲۴/۶۵	Vnn

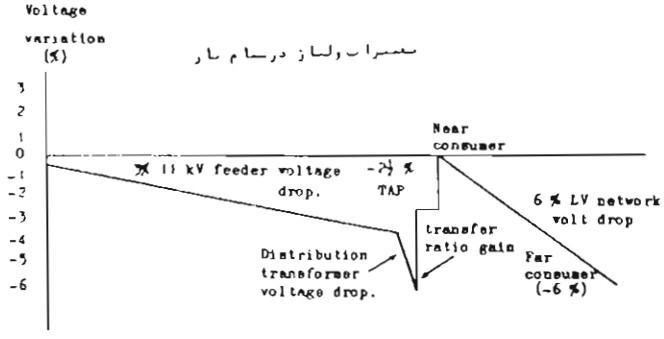
ولتاژ نامی ۲۴۰ ولت است

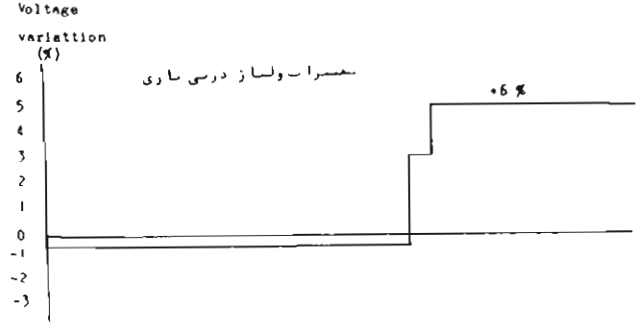
جدول ۱

NETWORK PARAMETERS					VOLTAGES & UNBALANCE FACTOR (Compensator out)				VOLTAGES & UNBALANCE FACTOR (Compensator in)				COMPENSATOR ELEMENTS		
CASE	E (Pu)	cosΦ	$Z_1 = Z_2$ (pu)	Z_0 (pu)	V_a (pu)	V_b (pu)	V_c (pu)	VUF%	V_a (pu)	V_b (pu)	V_c (pu)	VUF%	C_a/L_a μF/mH	C_b/L_b μF/mH	C_c/L_c μF/mH
1	1.0212	1	0.1631+j0.076	0.301+j0.0673	0.9435 (low)	0.9435 (low)	0.9435 (low)	0.00	0.9807	0.9807	0.9807	0.00	C_a=652	C_b=652	C_c=652
2	1.0212	0.85	0.1631+j0.076	0.301+j0.0673	0.9376 (low)	0.9376 (low)	0.9376 (low)	0.00	0.9832	0.9832	0.9832	0.00	C_a=720	C_b=720	C_c=720
3	1.0612	0.85	0.1631+j0.076	0.301+j0.0673	1.0554 (high)	1.0554 (high)	1.0554 (high)	0.00	1.0187	1.0187	1.0187	0.00	L_b=24	L_b=24	L_c=24
4	1.0612	1	0.1631+j0.076	0.301+j0.0673	1.0669 (high)	1.0315 ------	0.9651 ------	5.55	1.016	1.0093	0.9879	1.46	L_a=18	-----	-----
5	1.0612	1	0.1631+j0.076	0.301+j0.0673	1.0759 (high)	1.0250 ------	0.8822 (low)	11.28	1.0332	0.9593	0.9548	5.16	L_a=10	-----	C_c=1554
	E	cosΦ	$Z_1' = Z_2'$	Z_0'	V_a	V_b	V_c	VUF%	V_a	V_b	V_c	VUF%	C_a/L_a	C_b/L_b	C_c/L_c
6	1.0212	1	0.02+j0.05	0.05+j0.1	1.0612 (high)	0.9425 (low)	0.9155 (low)	9.05	0.9947	0.9714	1.0023	1.82	L_a=21	C_b=404	C_c=651
7	1.0212	1	0.02+j0.05	0.05+j0.1	1.0505 (high)	1.0112 ------	0.8865 (low)	9.62	1.0184	0.9825	0.9743	2.68	L_a=30	------	C_c=749
8	1.0612	1	0.02+j0.05	0.05+j0.1	1.0769 (high)	1.0584 (high)	0.9586 (low)	7.05	1.0239	0.9908	1.0081	1.66	L_a=20	L_b=26	C_c=273
9	1.0212	0.85	0.02+j0.05	0.05+j0.1	0.9989 ------	1.0311 ------	0.8709 (low)	9.93	1.0076	0.9980	0.9812	1.44	-----	-----	C_c=994

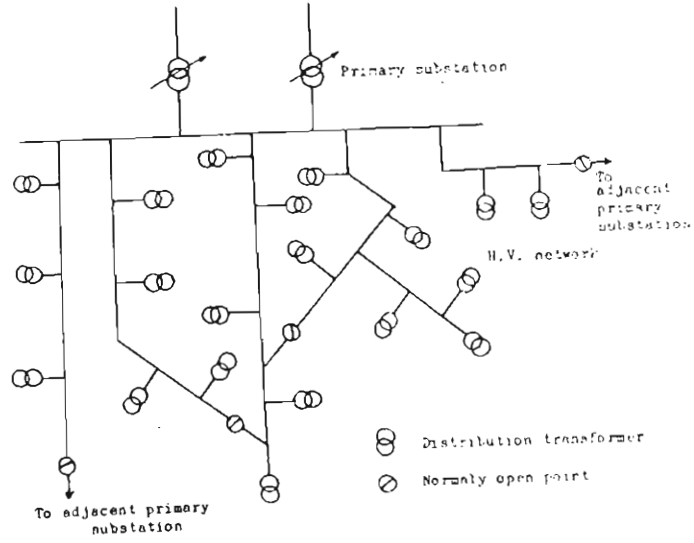
جدول ۲

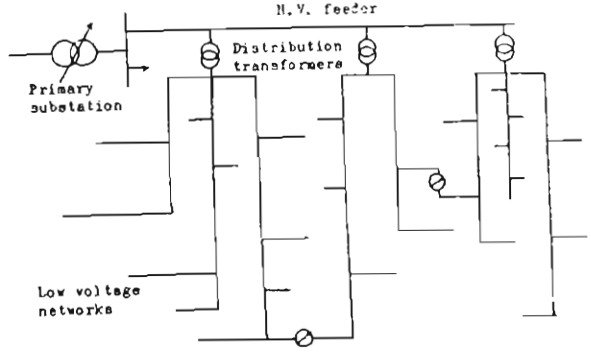






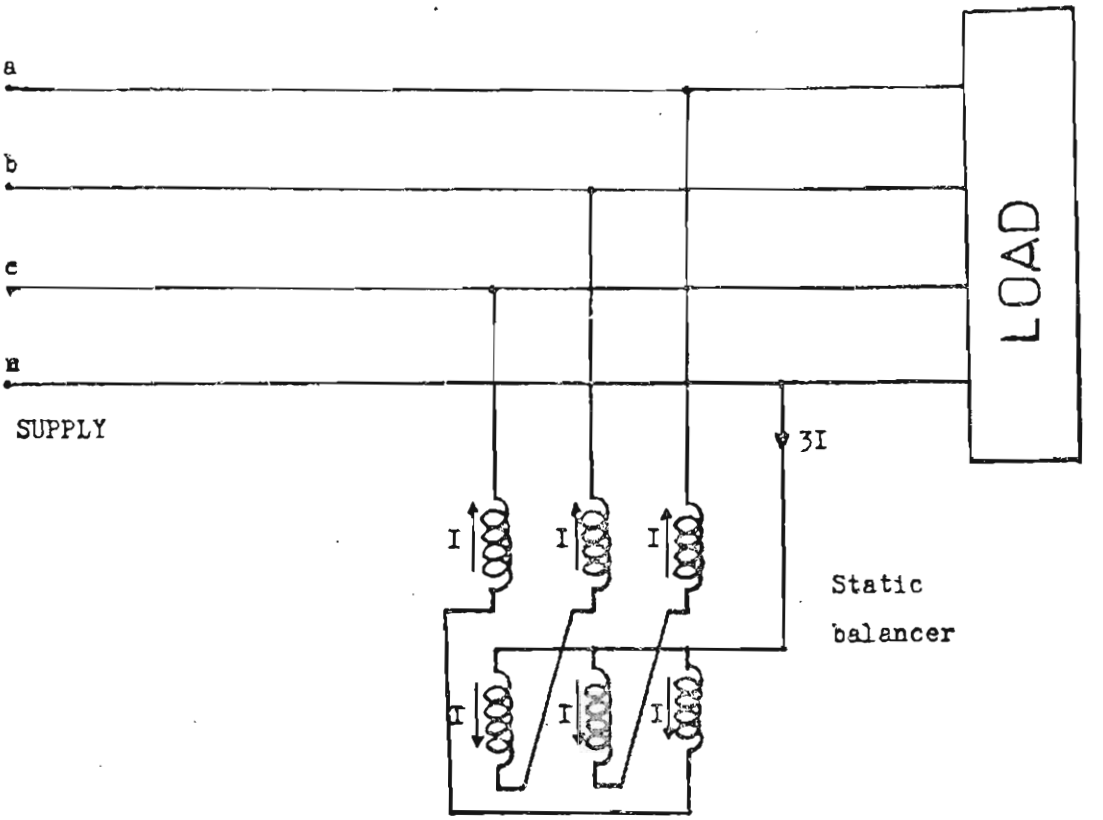
شکل ۲: دیاگرام ساده شده شبکه توزیع



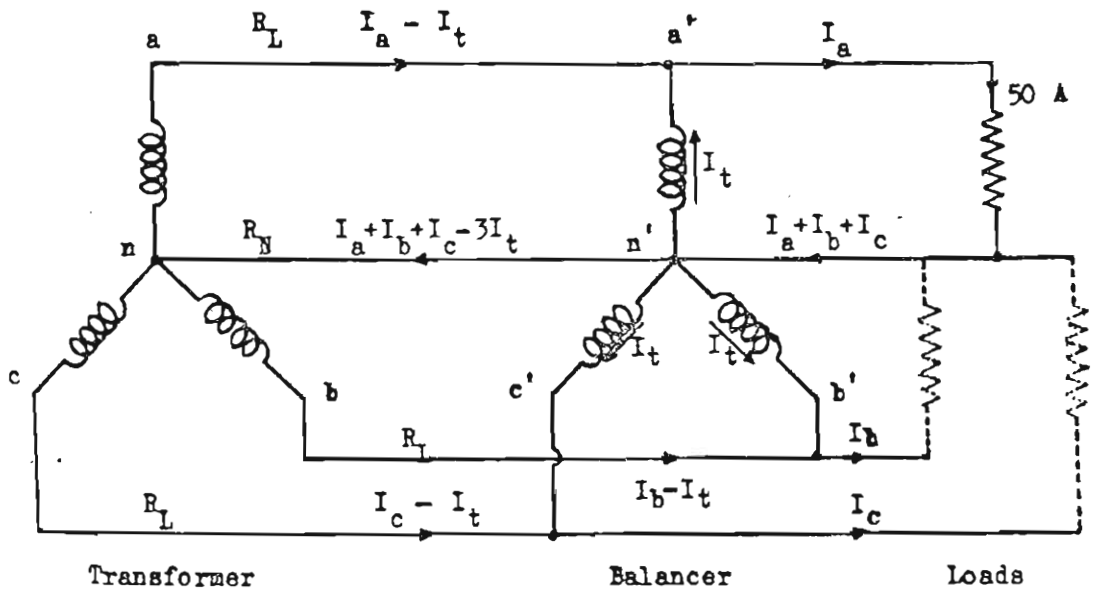


شکل ۱: دیاگرام شماتیک شبکه توزیع ولتاژ بالا که توسط فیدر H.V. تغذیه میشود.

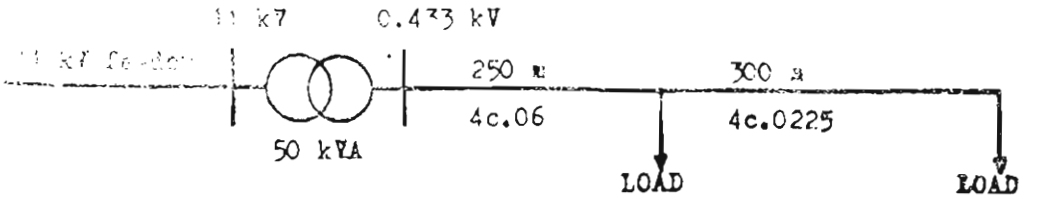
شکل ۲: طرز تغییرات ولتاژ مربوط به یک خط سدنه



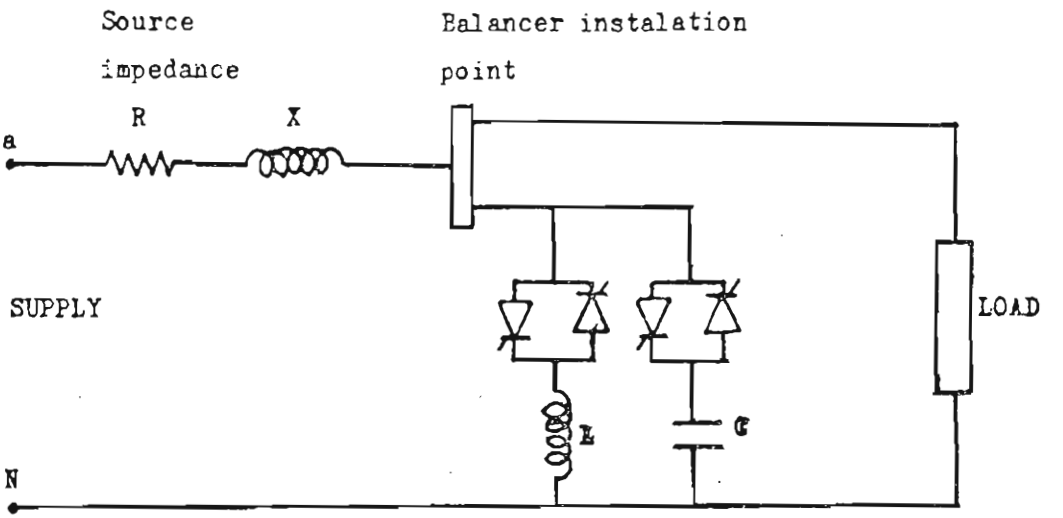
شکل ۴: دیاگرام شماتیک تصحیح کننده ولتاژ ترانسفورماتوری



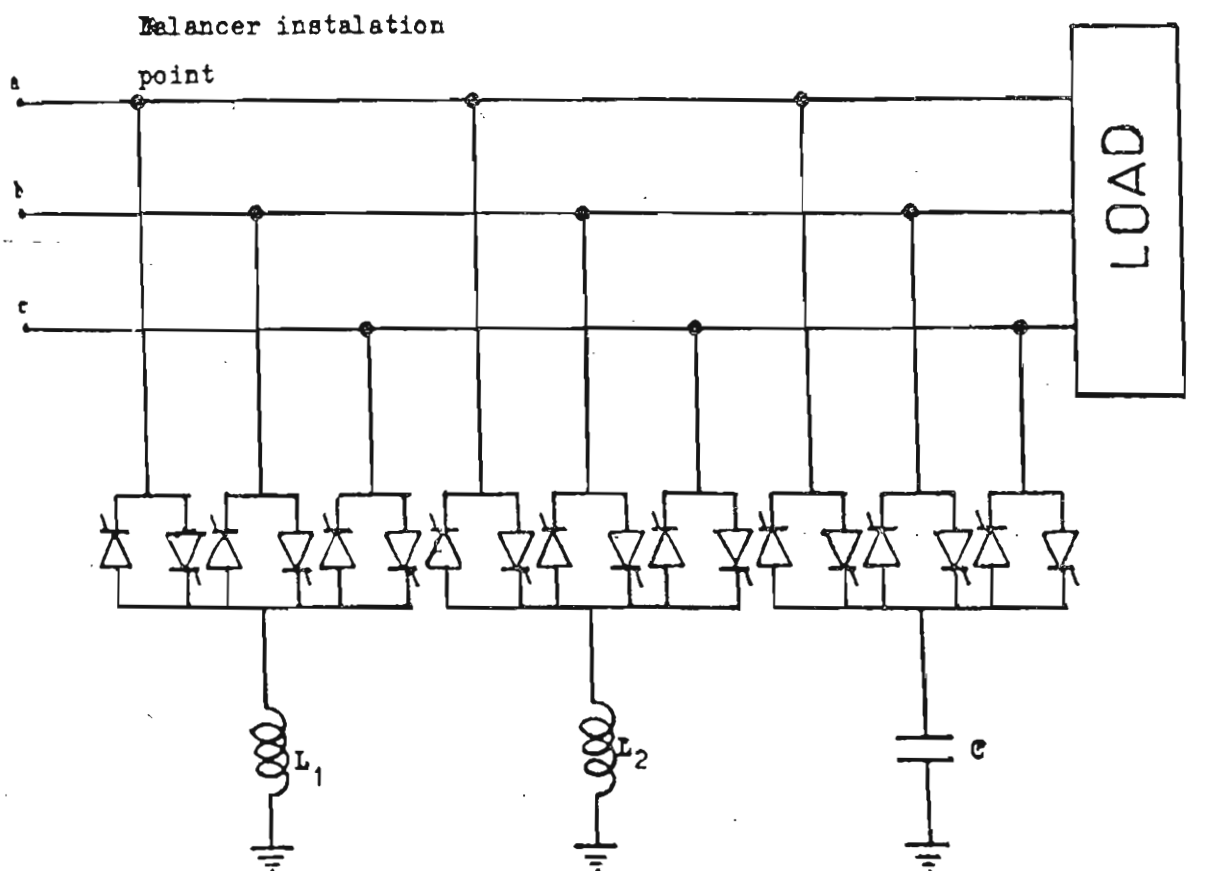
شکل ۵: دیاگرام سیستم تغذیه ۴ سیمه همراه با تصحیح کننده ولتاژ و با رتکفاز



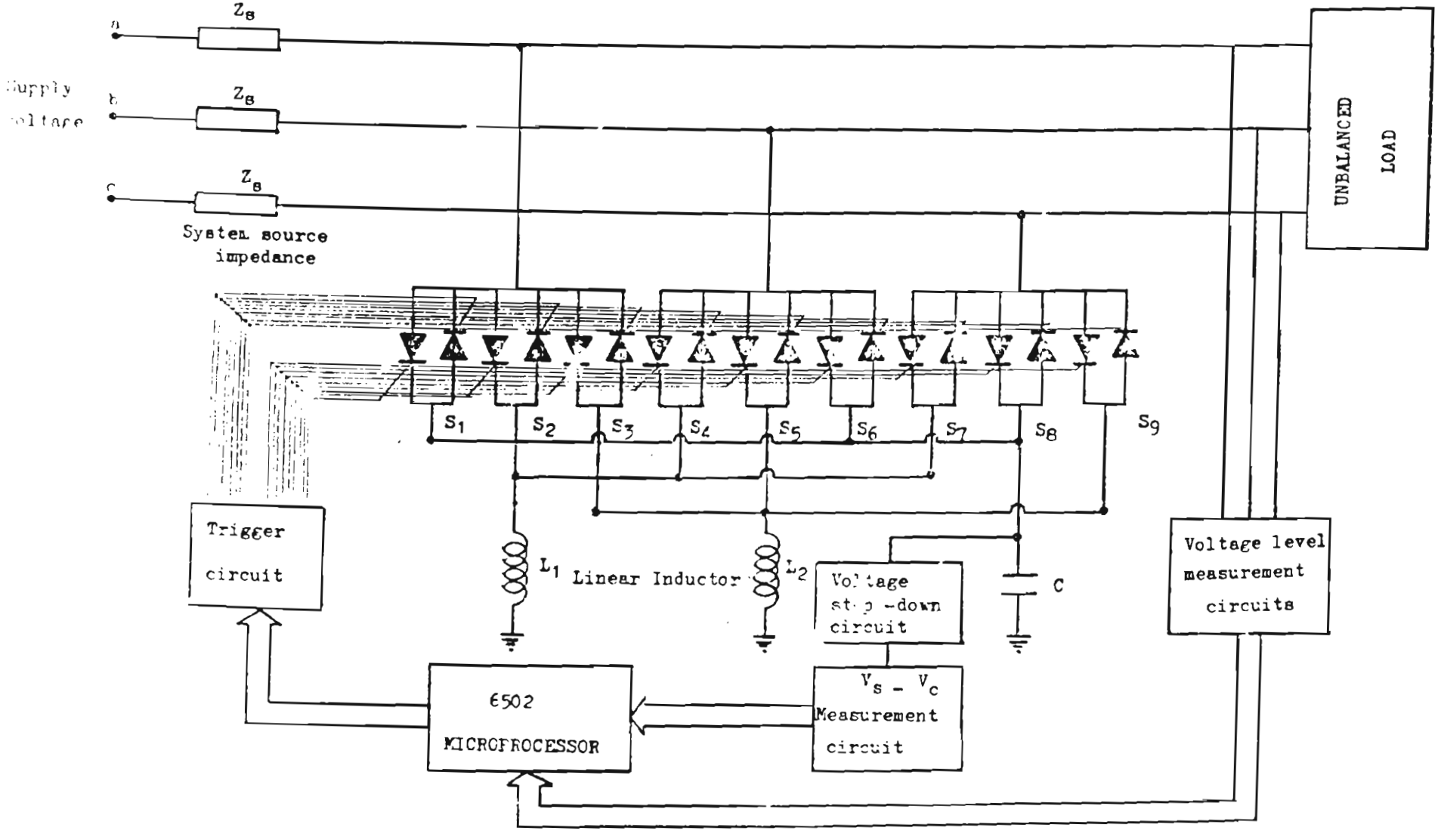
شکل ۶: خط تغذیه LV با بارنا متعادل



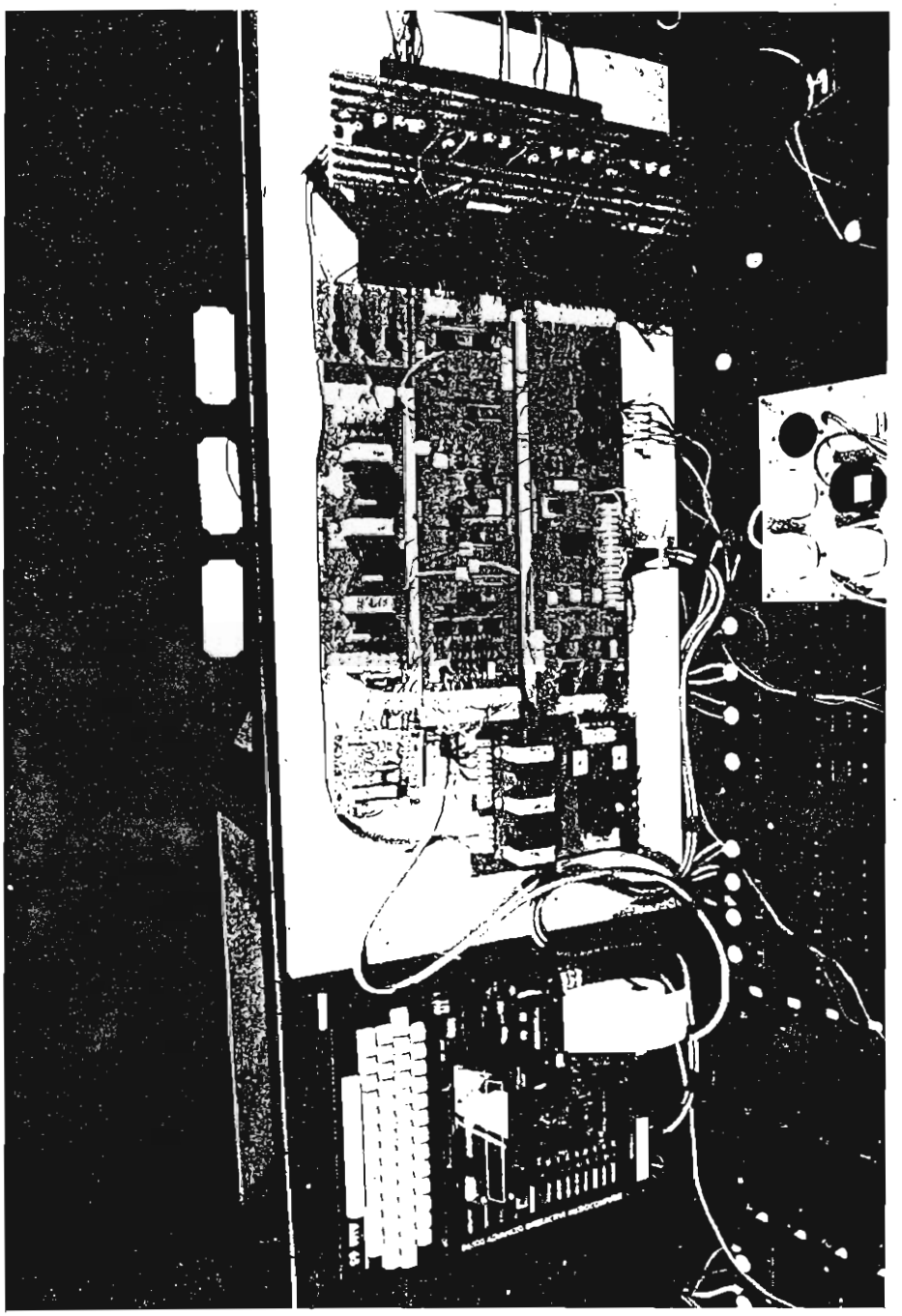
شکل ۷: راکتوروخازن تایریستورسوئیچ



شکل ۸: طرح پیشنهادی تصحیح کننده ولتاژ خازن تایریستورسوئیچ/راکتورتایریستورسوئیچ



شکل ۹ - بلوک دیاگرام سیستم کامل



شکل ۱۰: فتوگراف تصحیح کننده ولتاژ خازن تایریستورسوئیچ / راکتورتایریستور سوئیچ