بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده مهندسی برق و رباتیک

گروه الکترونیک

طراحی و ساخت سیستم جمع آوری و پردازش متمرکز اطلاعات در پستهای توزیع برق

غلام رضا ببریان

استاد راهنما: دکتر علی سلیمانی

استاد مشاور: دکتر امید رضا معروضی

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجهٔ کارشناسی ارشد

شهریور ماه 1389

چکیده :

پستهای توزیع برق، وظیفه توزیع انرژی الکتریکی مصرفی مشترکین خانگی، تجاری،صنعتی و... را به عهده دارند. با توجه به تعداد و قدرت مشترکین که از پست برق تغذیه می شوند، قدرت و تعداد خطوط خروجی پست مشخص می گردد. هر پست توزیع برق یک خط ورودی و حد اقل 1 تا 14 خروجی فشار ضعیف می تواند داشته باشد. هر خط شامل 3 فاز و یک نول می باشد. مهمترین پارامترهای (اطلاعات) هر خط شامل: ولتاژ(ولت)، جریان الکتریکی (آمپر)، ضریب قدرت ($\cos\varphi$) و هارمونیکهای شکل موج جریان و ولتاژ می باشد.

مهندسین طراح و بهره بردار شبکه های توزیع برق، جهت طراحی و بهره برداری بهینه از شبکه، همواره نیاز دارند که کلیه پارامترهای پستهای توزیع برق را در اختیار داشته باشند. به دو روش دستی و اتوماتیک می توان اطلاعات لازم را جمع آوری کرد. روش دستی زمانبر و دارای خطا و هزینه های اجرائی زیادی است. در روش دوم با نصب سیستمهائی در کلیه پستهای موجود، اطلاعات جمع آوری و به ایستگاه مرکزی ارسال می گردد. در مرکز علاوه بر رویت و ذخیره داده ها جهت مقاصد دیگر، می توان آنها را پردازش و اطلاعات لازم را استخراج نمود.

در راستای این هدف، سیستمی طراحی و ساخته شده، که پس از نصب در هر پست قادر است کلیه اطلاعات را خوانده، جمع آوری و نگهداری نماید. اطلاعات ذخیره شده می توانند، تحت نرم افزاری که برای پردازش داده ها تهیه شده است، بصورت منحنی هائی در بازه زمان نشان داده شوند. سیستم ساخته شده دارای 15 خط ورودی جریان و یک خط ورودی ولتاژ می باشد. با پیاده سازی این سیستم بصورت صنعتی در یکی از شرکتهای توزیع برق کشور، می توان مدعی شد که سیستم اتوماسیون و مانیتورینگ فشار ضعیف پستهای توزیع برق را با مشخصات خاص پیاده سازی و اجرا نموده ایم.

کلمات کلیدی: پست توزیع برق، جمع آوری اطلاعات، طراحی سخت افزار

فهرست مطالب :

فصل اول: مقدمه 1

1-1- مقدمه 2

1-2- ضرورت نیاز به سیستم جمع آوری اطلاعات پستهای توزیع برق 2

1-3- معرفی سیستم طراحی و ساخته شده 3

1-4- معرفی و مقایسه سیستمهای مشابه ساخت داخل و خارج 5

فصل دوم : تئوریهاتحلیل سیگنالهاو کاربرد آنها در سیستم 8

2-1- مقدمه 9

2-2- تئوری و تحلیل سیگنالها 9

2-2-1- محاسبات و پردازش مقادیر جریان و ولتاژ 9

2-2-2- محاسبه هارمونیک 11

فصل سوم : طراحی سخت افزار 13

3-1- مقدمه : 14

3-2- ترانس جریان (CT) اندازه گیری 15

3-2-1-سنسور جریان 100 آمپری اثر هال 16

3-3- منابع تغذیه: 17

3-3-1- منبع تغذیه مرجع (V ref) تراشه ADR421 19

3-4- بورد مبدل جریان به ولتاژ : 20

3-5- بورد اندازه گیری جریان(Current Board): 23

3-5-1- سو ئیچهای آنالوگ(Multiplexer) 24

3-5-2- مبدل آنالوگ به دیجیتال(ADC) 25

3-5-2- مدار تقویت کننده دیفرانسیلی ورودی ADC 29

3-5-3- فیلتر سیگنالهای آنالوگ ورودی 31
6-3- طراحی و تجزیه و تحلیل مدار و المانهای ورودی پردازنده بورد جریان 33
3 – 7 - LCD و اتصالات سخت افزاری آن 41
3 – 8 - صفحه کلید 42
3- 9 ـ میکرو کنترلر AVR ، ATMEGA1280 42
10-3- بورد اندازه گیری ولتاژ 44
فصل چهارم : جمع آوری و پردازش اطلاعات 52
1-4- مقدمه 53
2-4- طراحی نرم افزار بورد ولتاژ 53
1-2-4-مد محاسبه(aqusition – mode) 55
2-2-4- محاسبه فاز (phase – mode) 55
3-2-4- مد انتقال (Transfer – mode) 58
3-4- ساختار و روند اجرای برنامه نرم افزار در بورد مرکزی 59
1-3-4- حالت مقدار دهی اولیه 60
3-4- 2- وضعیت تنظیمات کاربر 61
3-3-4- حالت خواندن و محاسبات 61
4-3-4- حالت نمایش اطلاعات 61
4-4- بررسی تنظیمات و مقداردهی اولیه سیستم 64
5-4- بررسی تنظیمات کاربر 66
6-4- بررسی وضعیت خواندن و محاسبات 67
1-6-4- تابع محاسبات ( )aquisition 68
2-6-4- محاسبه offset 72

4-6-3- خواندن و محاسبه جریان های خروجی 74
4-6-4- محاسبه هارمونیک 76
4-7- بررسی وضعیتهای نمایش اطلاعات..... 80
4-8- ذخیره داده ها در SD کارت 82
فصل پنجم : نتیجه گیری 89
5-1- مقدمه 90
5-2- معرفی نرم افزار نمایش پارامترهای پست 91
5-3- نتیجه گیری 94
5-4- پیشنهادات..... 95
منابع..... 96

فهرست اشکال :

شکل (1-1) رکوردهای محاسبه شده در سیستم جمع آوری اطلاعات پست توزیع برق 4

شکل(1-2) سیستم طراحی شده جمع آوری اطلاعات پستهای توزیع برق..... 5

شکل (1-3) دستگاه TDL103..... 7

شکل (3-1) شماتیک سیستم جمع آوری اطلاعات پستهای توزیع برق..... 14

شکل (3-2) منحنی جریان اولیه و ثانویه در CT اندازه گیری..... 16

شکل(3-3) سنسور جریان 100 آمپری اثر هال – ACS752SCA-100..... 16

شکل(3-4) منحنی ولتاژ خروجی سنسور اثر هال بر حسب جریان اولیه 17

شکل (3-5) مدار ساخت منابع تغذیه المانها در سیستم جمع آوری اطلاعات پست 19

شکل (3-6) ADR421,IC و اتصالات پایه با هدف تهیه V_{ref} برای ADC 20

شکل (3-7) مدار بورد مبدل جریان به ولتاژ..... 21

شکل (3-8) سوئیچ آنالوگ AD508A..... 24

شکل(3-9)مدار ورودی مبدل آنالوگ به دیجیتال..... 26

شکل (3-10) مبدل آنالوگ به دیجیتال ADS1271 استفاده شده در سیستم 27

شکل (3-11) سیگنالهای کلاک، کنترلی و دیتا 24 بیتی در ADS1271..... 28

شکل(3-12) مدارتقویت کننده دیفرانسیلی ورودی ADC 30

شکل (3-13)نمودار پاسخ فرکانسی فیلتر FIR خطی دیجیتال ADC 33

شکل (3-14) شماتیک معماری و ارتباطی بورد اصلی با وسایل جانبی در طراحی سیستم..... 34

شکل(3-15)مسیر عبور سیگنال در بورد اصلی جهت اندازه گیری جریانهای پست 35

شکل (3-16) مسیر سیگنال آنالوگ خروجی CT تا ADC..... 35

شکل (3-17) منحنی مشخصه R_{on} نسبت به تغییر V_{DD}, V_{SS} 36

شکل (3-18) مدار معادل RC ورودی ADC و منحنی مشخصه شارژ مدار RCورودی ADC..... 38

شکل (3-19) مسیر سیگنال در مبدل جریان به ولتاژ 38
شکل(3-20) نحوه اتصال LCDدر سیستم 41
شکل (3-21)کلیدهای ورودی سیستم برای کاربران 42
شکل (3-22) بلوک دیاگرام میکرو کنترلر AVR، ATMEGA1280 43
شکل(3-23)تصویر بورد ولتاژ با پردازنده atmega88 44
شکل (3-24) مدار ورودی بافر و تقویت کننده بورد ولتاژ 46
شکل(3-25) مدار تبدیل شکل موج سینوسی به پالسهای مربعی جهت تعیین اختلاف فاز جریان و ولتاژ 47
شکل (3-26) مدار تبدیل ولتاژهای بورد ولتاژ به موج مربعی جهت محاسبه اختلاف فاز 48
شکل(3-27)پردازشگر بورد ولتاژ(ATmega88)با کلیه ورودیها و خروجیها در بورد 49
شکل(4-1)الگوریتم روند کلی نرم افزار در بورد ولتاژ 54
شکل (4-2) الگوریتم کلی روند اجرای برنامه سیستم جمع آوری اطلاعات پست توزیع برق 63
شکل (4-3) الگوریتم تابع ( ) aquisition 68
شکل (4-4) نمودار روند محاسبات جریانهای ورودی و دریافت اطلاعات از برد ولتاژ 70
شکل (4-5) الگوریتم محاسبه جریان مؤثر خروجی پست ( )I_{rms} 76
شکل (4-6) الگوریتم تبدیل فوریه سیگنال سینوسی 77
شکل (4-7) الگوریتم روند محاسبه هارمونیک جریانهای ورودی در سیستم 79
شکل(5-1) پنجره انتخاب مناطق مختلف در نرم افزار مانیتورینگ پستهای توزیع برق 92
شکل(5-2)پنجره انتخاب پست در یکی از مناطق تعریف شده در نرم افزار مانیتورینگ پست 92
شکل(5-3)پنجره مربوط به مشخصات پست انتخاب شده در نرم افزار مانیتورینگ پست 93
شکل(5-4) منحنی هارمونیکهای 15،13،11،9 ام فاز R جریان کل پست برق انتخاب شده 94

فهرست جداول

جدول (3-1) قطعات و ولتاژهای مرجع المانهای سیستم..... 16

جدول(3-2) حالتهای سوئیچ ADG508A برای انتخاب یکی از ورودیها..... 22

جدول(4-1) داده های ذخیره شده و آماده ارسال در بورد ولتاژ(ولتاژ و فاز) 58

جدول(4-2) نحوه ذخیره سازی متغیرهای خط ورودی در RAM میکروکنترلر 83

جدول (4-3) نحوه ذخیره سازی هارمونیکها در RAM..... 83

جدول (4-4) نحوه ذخیره سازی داده های خروجی nام در RAM..... 84.

جدول (4-5) نحوه ذخیره سازی داده های خط ورودی در SD کارت توسط بافر تعریف شده 88

فصل اول:

مـقـد مـه

1-1- مقدمه :

پستهای توزیع برق وظیفه کاهش ولتاژبرق از 20 کیلوولت به 400 ولت جهت مصارف مشترکین خانگی، تجاری و صنعتی را به عهده دارند. با توجه به نوع و قدرت پست بین 1 تا 14 خط خروجی فشار ضعیف تغذیه کننده خواهیم داشت. پایداری و کیفیت انرژی الکتریکی توزیع شده یکی از مهمترین دغدغه های شرکتهای توزیع برق می باشد. کارشناسان بهره برداری با اندازه گیری و کنترل شاخصها و پارامترهای الکتریکی (جریان،ولتاژ،ضریب توان،هارمونیک، رشد بار و ...) همواره می کوشند که به این هدف عالی نایل آیند.

1-2- ضرورت نیاز به سیستم جمع آوری اطلاعات پستهای توزیع برق :

درحال حاضر عمل کنترل پارامترها و پایش مشخصه های الکتریکی بصورت دستی با اعزام فرد به محل پستهای برق، بصورت کاملاً محدود انجام می گیرد.در راستای توسعه لوازم اندازه گیری و ثباتهای دیجیتالی، پارامترهای الکتریکی قابل اندازه گیری و ثبت در طول 24 ساعت بوده و داده های اندازه گیری شده جهت تکمیل بانک اطلاعاتی پستها به مرکز ارسال می گردد بطوریکه کارشناسان با استفاده از نرم افزارهای طراحی شده در مرکز قادر به تجزیه و تحلیل و ارائه انواع گزارشات کاربردی و راهبردی در راستای بهره برداری بهینه از شبکه خواهند بود.گزارشات فوق می تواند در موارد ذیل هم کارگشا باشند :

- بررسی امکان فروش و واگذاری انرژی به متقاضیان با توجه به توان مصرفی(بار) هر خط و کل پست.

- ملاحظات رشد باردرطراحی شبکه با توجه به چشم انداز آینده.

- شناسایی و کیفیت نوع بار مصرف کننده ها و مشترکین برق از نظر تولید هارمونیک، زمان پیک و کم باری و موارد مشابه دیگر جهت مدیریت بار و مصرف انرژی در محدوده های کوچک تا کلان.[10]

در شرکت های توزیع برق کشور با توجه به تعداد زیاد پست ها و نیاز به هزینه بسیار بالای نصب ثباتها در مبادی فشارضعیف پستها، برداشت و ثبت اطلاعات بصورت دستی یا نصب دستگاه ثبات موقت قابل حمل انجام می شود. که این روشها جوابگو نبوده و مشکلات و معایب خاص خودش را در بر دارد.

در سالهای اخیر نیاز دسترسی به پارامترهای الکتریکی پستهای توزیع برق در راستای مشتری مداری و توسعه و پیشرفت در این صنعت، بسیار احساس می گردد و با توجه به فضای رقابتی بین شرکت های توزیع برق سراسر کشور که همگی زیر نظر مدیریت واحد (توانیر) اداره می شوند سعی می کنند در زمینه های فروش، طراحی و نگهداری شبکه برق بهترین باشند. مهمترین گام در رسیدن به این هدف دسترسی به کلیه پارامترهای الکتریکی پست می باشد. با نصب ثبت کننده پارامترها در تک تک پستها و جمع آوری اطلاعات آنها تحت یک نرم افزار کاربردی می توان به این مهم دست یافت.

1-3- معرفی سیستم طراحی و ساخته شده :

سیستمطراحی شده که در شکل (1-2) نشان داده شده، قادر است اطلاعات و پارامترهای الکتریکی پستهای توزیع را جمع آوری کردهو روی آنها عمل پردازش انجام دهد.

بعنوان مثال پستی با قدرت ترانس1250KVAو14 خط خروجی فشار ضعیف داریم، با نصب این سیستم در پست، رکوردهای شکل (1-1) در بازه زمانی مشخص در حافظه دستگاه ذخیره می گردد.

زمان	تاریخ	جریان کل پست				ولتاژ شبنه ها			جریان خروجی خط 1(آمپر)				3	جریان خروجی خط 14(آمپر)				هارمونیک اول جریان کل			....	هارمونیک 15 جریان کل		
		In	IT	IS	IR	vt	vs	vr	In	IT	IS	IR		In	IT	IS	IR	R	S	T		R	S	T

شکل(1-1)رکوردهای محاسبه شده در سیستم جمع آوری اطلاعات پست توزیع برق

بطور خلاصه سیستم طراحی شده دارای مشخصات ذیل می باشد :

سیستم قادر است 61 سیگنال ورودی را اندازه گیری نماید. این سیگنالها مربوط به جریان الکتریکی 3فاز – نول ورودی پست برق و 14 خط خروجی (15x4) بعلاوه یک سیگنال زمین[1]جهت محاسبه افست[2]می باشد. همچنین قادر است 3 سیگنال ورودی که در واقع خروجی ترانسفورماتور کاهنده 220/3 ولت می باشد(ولتاژ سه فاز R، S ، T) را اندازه گیری نماید.

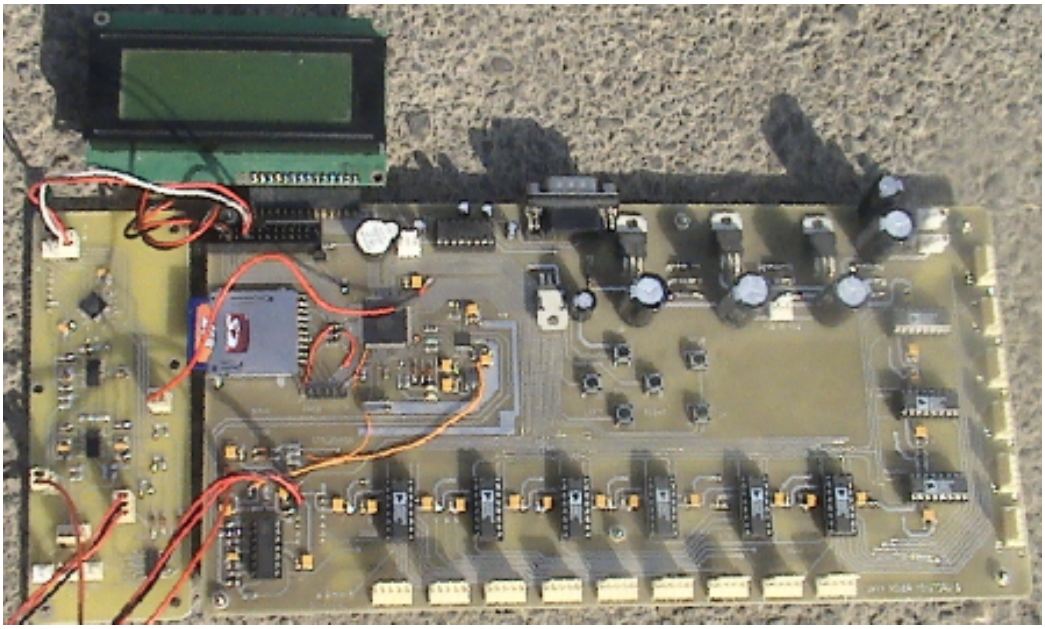
سیستم دارای دو پردازنده AVR می باشد. ATMega1280 که مربوط به بورد اصلی بوده و ATMega88 که پردازنده بورد فرعی است و محاسبات ولتاژ و اختلاف فاز را انجام میدهد.

سیستم طوری طراحی شده که هر 10 دقیقه اطلاعات پست را خوانده و نگهداری می نماید.سر ساعت اطلاعات نگهداری شده در حافظه RAM پردازنده اصلی را در فایلهای ماهانه (سه فایل خط ورودی ، خطوط خروجی و هارمونیک) داخلSDcard ذخیره نماید. با ورود به ماه جدید سیستم فایل جدیدی ایجاد و این عمل را تا هنگام پر شدن SD card ادامه خواهد داد.

برای جلوگیری از پر شدن بی مورد حافظه، توانهای اکتیو و راکتیو ذخیره نمی گردند. بلکه در صورت درخواست کاربر (در مد user display) فقط محاسبه و نمایش داده می شوند.با داشتن فازورهای جریان و ولتاژ می توان توانها را بصورت نرم افزاری محاسبه کرد.

نرم افزار تهیه شده در رایانه قادر است کلیه پستها را با توجه به محل قرار گرفتن آنها از نظر جغرافیایی یا الکتریکی دسته بندی نماید. در نهایت با انتخاب پست و پارامترالکتریکی،نرم افزار قادر است منحنی تغییرات آن پارامتر را در بازه زمانی مشخص شده نمایش دهد.

[1]Earth Signal
[2]offset



شکل(1-2) سیستم طراحی شده جمع آوری اطلاعات پستهای توزیع برق

1-4- معرفی و مقایسه سیستمهای مشابه ساخت داخل و خارج:

تنها شرکت داخلی که بصورت تخصصی در زمینه ساخت این ثباتها فعالیت می نماید شرکت مهندسی مشهد تدبیر می باشد که تعدادی از شرکت های توزیع برق نسبت به خریداری و نصب ثبات از این شرکت اقدام نموده اند. دستگاه TDL103 شکل (1-3) آخرین محصول این شرکت می باشد که دستگاه فوق قادر است یک ورودی از ولتاژهای سه فاز ـ نول و یک ورودی از جریان های 3 فاز را دریافت و پارامترهای الکتریکی آنها را در SD کارت خود ثبت نماید. در سیستم TDL103 از IC انرژی میترینگ ADE7758 بصورت مستقیم اندازه گیری ولتاژها، جریانها، توانهای اکتیو و راکتیو و ... را انجام می دهد در صورتیکه سیستم طراحی شده در این تحقیق از 24ADC بیتی خارجی برای پردازش و محاسبات پارامترها استفاده می شود.

شرکت مشهد تدبیر سیستم فوق را با قیمت حدود 4.800.000 ریال به فروش می رساند که ثبت پارامترهای ولتاژ موثر، جریان مؤثر،PF توان اکتیو و راکتیو سه فاز ،THDو دیگر مقادیر مرتبط به این مشخصات را انجام می دهد. البته راه اندازی دستگاه نیاز به لوازم جانبی مثل ct و . . . دارد، که باید جداگانه تهیه و خریداری گردد.(هر خط ورود یا خروجیهای پست نیاز به 4 عدد ct اندازه گیری دارد که قیمت تقریبی هر عدد آن حدود 150000 ریال می باشد.)

سیستم مشابه خارجی که در شرکت توزیع برق تهران مورد استفاده قرار می گیرد .ثبات الکتریکی است که کلیه پارامترهای الکتریکی(جریان، ولتاژ، ضریب توان، توانهای اکتیو و راکتیو، هارمونیکهای شکل موجها . . .) را با برچسب زمانی محاسبه و تحت نرم افزاری پردازش و گزارش گیری مینماید. همچنین قادر است رسم منحنی های زمانی پارامترها را انجام دهد. مارک دستگاه اشنایدر، قابل حمل و برای نمونه گیری از جریان خطوط از ct های کلمپی که شبیه آمپر مترهای چنگکی می باشد، استفاده می نماید. قیمت دستگاه حدود 40 000 000 ریال و یکعدد ct آن حدود 10 000 000 ریال می باشد. کارشناسان با نصبدستگاه در پست برای زمان مشخصی قادر خواهند بود، که به رفتارهای الکتریکی بار و پارامترهای پست برای مقاصد خود دست پیدا کنند.

شکل (1-3) دستگاه TDL103

یکی از فاکتورهای مهم در بالا رفتن قیمت پیاده سازی سخت افزار سیستم اتوماسیون جمع آوری اطلاعات پستها ی توزیع برق، ترانسفورماتور جریان(ct) می باشد. که در این راستا صنعتگران و پژوهشگران همواره بدنبال روشی هستند که با هزینه کمتر به این هدف (اندازه گیری جریان

الکتریکی بدون تماس با سیستم قدرت)دست پیدا کنند. از اینرو ctهای رکوفسکی، نوری و اثر هال وارد صنعت گردیدند. که در فصل سوم جائیکه در مورد ct اندازه گیری بحث می شود یک نمونه از ct اثر هال ارائه خواهد شد.

تحقیق در چهار فصل تقسیم و بررسی شده است.

فصل اول شامل: مقدمه، مروری بر کارهای انجام شده ، ارائه یک سیستم مشابه صنعتی و در ادامه سیستم طراحی شده معرفی و مشخصات وتوانائیهای آن بازگو خواهد گردید.

فصل دوم شامل: تئوریها، تحلیل سیگنالها و کاربردهای آن در سیستم طراحی شده از نظر اندازه، فاز، هارمونیکو ...که مورد بحث و بررسی قرار خواهد گرفت.

فصل سوم شامل:بلوک دیاگرام سخت افزار سیستم می باشد که به تفکیک بلوکهای نمونه گیر،مدار تغذیه، سوئیچها، ADC ... و شرح وظایف و چگونگی ارتباط بین آنها همراه با کنترل کننده مرکزی مورد تشریح قرار خواهد گرفت و در فصل چهارم جمع آوری اطلاعات و نمایش با توجه به روند کار و محدودیت ها در سیستم طراحی شده، مورد بحث قرار می گیرد.

و در نهایت در فصل پنجم با معرفی یک نرم افزار طراحی شده نشان داده خواهد شد که چگونه می توان اطلاعات ثبت شده روی حافظه سیستم را بوسیله گرافهای ترسیم شده هر پارامتر در بازه زمانی مشخص مورد بحث و بررسی قرار داد. همچنین پیشنهاداتی در خصوص کاستی ها و توسعه سیستم طراحی شده ارائه می گردد.

فصل دوم:

تئوریها
تحلیل سیگنالها
و کاربرد آنها در سیستم

2-1- مقدمه :

سیگنال برق شهر سینوسی با فرکانس 50 هرتز با مقدار موثر حدود 220 ولت می باشد. خروجی فشار ضعیف ترانسفورماتور 20kv/400v پستهای توزیع برق شامل سه فاز T,S,R و نول می باشد که ولتاژ خط (اختلاف پتانسیل الکتریکی بین دوفاز) 380-400v ولتاژ فاز (اختلاف پتانسیل بین هر فاز و نول) 220-240v می باشد. با توجه به بار (مصرف کننده) جریانی از هر فاز کشیده می شود. اگر بارها اهمی خالص باشد اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ صفر بوده و ضریب توان صفرخواهد شد.اگر بارها سلفی باشد (کلیه الکتروموتورها، سیم پیچیهاو...) سیگنال جریان به اندازه زاویه Φ از ولتاژ عقب افتاده و عکس آن اگر بار،خازنی باشد سیگنال جریان از سیگنال ولتاژ جلو می افتد.

2-2- تئوری و تحلیل سیگنالها :

2-2-1- محاسبات و پردازش مقادیر جریان و ولتاژ :

در حالت کلی می توان نوشت:

(2-1) سیگنال ولتاژ $V(t)=V_m \cos \omega t$

(2-2) سیگنال جریان $I(t)=i_m \cos (\omega t+\Phi)$

(2-3) توان اکتیو $P=|V| \, |I| \cos \Phi$

(2-4) توان راکتیو $Q=|V| \, |I| \sin \Phi$

(2-5) توان ظاهری $S= \sqrt{P^2 + Q^2} =|V| \, |I|$

سیستم به گونه ای طراحی شده که سیگنالهای ولتاژ و جریان پس از اعمال تغییرات روی آنها در محدوده رنج قابل قبول مبدل آنالوگ به دیجیتال قرار گیرند. سپس با فرکانس نمونه برداری معینی عمل تبدیل سیگنال پیوسته به گسسته را انجام می دهد. در نهایت برای یک سیکل ولتاژ یا جریان با تعداد n نمونه خواهیم داشت:[10]

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \times \int_0^T V^2(t)dt}$$ (6-2) مقدار مؤثر سیگنال پیوسته V(t)

در حالت گسسته داریم :

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^{n} V^2(i)} = \frac{\sqrt{(V_1^2+V_2^2+\cdots+V_n^2)}}{\sqrt{n}}$$ (7-2)

n:تعداد نمونه ها در یک سیکل

$$I_{rms} = \frac{\sqrt{(I_1^2+I_2^2+\cdots+I_n^2)}}{\sqrt{n}}$$ (8-2)

با توجه به اینکه میکروکنترلرها با ولتاژ کار می کنند، برای محاسبه جریان، پس از نمونه گیری توسط CTاز جریان خط (با نسبت تبدیل مشخص) آنرا از یک مقاومت کوچک عبور داده و ولتاژ حاصل در دو طرف مقاومت را که مقداری متناسب با جریان خط است. تقویت کرده و عمل پردازش روی آن ولتاژ انجام خواهد شد.

$$V_{rms=}LSB \times \sqrt{\frac{k_1{}^2+k_2{}^2+\cdots+K_n^2}{n}} \times G$$ (9-2)

که در آن :

$$LSB = \frac{V_{REF}}{2^b}$$ (10-2)

در رابطه (10-2)b نشان دهنده تعداد بیت ADC در سیستم می باشد، همانگونه که در فصل آینده توضیح داده خواهد شد b=15 و V_{REF}=2/5V می باشد. بنابراین می توان گفت که LSB دقت مبدل را مشخص می کند. برای دقیقتر شدن محاسبات و اینکه در شبکه توزیع نوسانات زیاد می باشد، بجای یک سیکل، از 5 سیکل برای محاسبه مقادیر مؤثر ولتاژ و جریان استفاده می نمائیم. در مبدل آنالوگ به دیجیتال در هر بار محاسبه برای هر خط خروجی تعداد (5×n) نمونه k1 تا k625را به

میکروکنترلرتحویل میدهد(n تعداد نمونه های یک سیکل شکل موج پیوسته ورودی می باشد که در سیستم برابر 125 نمونه محاسبه و تعریف شده است) با توجه به مقدار گین مدار معادل در مسیر سیگنال (G) و ضریب مورد نیاز (ADC(LSBمی توان مقادیر موثر ولتاژ و جریان را درمیکروکنترلر طبق رابطه (2-9) بدست آورد.[5]

تا اینجا مقادیر موثر ولتاژ، جریان و زاویه بین آنها را بدست آورده ایم، بسادگی میتوان مقادیر توانهای اکتیو و راکتیو را طبق روابط (2-3) و (2-4) بدست آورد.

2-2-2- محاسبه هارمونیک:

برای محاسبه هارمونیک از سیگنال جریان، نمونه برداری کرده، و طبق روابط تبدیل فوریه گسسته اندازه هارمونیکهای فرد را محاسبه و ذخیره می کنیم. مطابق فرمول تبدیل فوریه داریم:[3]

$$a_{0=\frac{2}{N}\sum_{k=0}^{N-1} f(k\Delta t)} \quad (11\text{-}2)$$

$$a_n = \frac{2}{N}\sum_{k=0}^{N-1} f(k\Delta t) cos\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) \quad (12\text{-}2)$$

$$b_n = \frac{2}{N}\sum_{k=0}^{N-1} f(k\Delta t) \sin\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) \quad (13\text{-}2)$$

که در روابط فوق داریم:

$f(k\Delta t)$: نمونه های گسسته شده سیگنال جریان

N: تعداد نمونه ها در یک سیکل(طول پنجره نمونه برداری)

K: شماره نمونه از 0 تا nn:مرتبه هارمونیک

مقدار موثر و زاویه فاز هارمونیک nام طبق روابط زیر قابل محاسبه می باشند.