



جمهوری اسلامی ایران
وزارت نیرو
شورای تحقیقات برق

عنوان پروژه
طراحی و ساخت دستگاه اندازه گیری کمیتهای
مختلف الکتریکی در شبکه های توزیع

مسئول پروژه :
شرکت توزیع نیروی برق استان خراسان

کمیته مرکزی تحقیقات برق منطقه ای خراسان
تاریخ تهیه : خرداد ماه ۱۳۷۹



چکیده

اندازه گیری کمیتهای مختلف الکتریکی جهت تجزیه و تحلیل کیفیت تغذیه (Quality of Supply)، مدیریت انرژی و کنترل خودکار آن در شبکه های توزیع، از ضروریات است. در خصوص کیفیت تغذیه باید گفت که مؤسسات تولید کنند برق بایستی بر طبق استاندارد، انرژی الکتریکی با کیفیت مطلوبی را به مشترکین تحویل دهند، لذا لازم است از کیفیت آن باخبر باشند. عواملی که تعیین کننده این کیفیت می باشند شامل میزان عدم تقارن موجود (مؤلفه توالی منفی)، میزان هارمونیک موجود، میزان تغییرات و نوسانات و لتاژ (فلیکرولتاژ) و نظایر آن می باشند. جهت اطلاع یافتن از این موارد لازم است دستگاهی در اختیار باشد که بتواند با در اختیار داشتن ورودیها (که جریان CT و ولتاژ PT است) کمیتهای فوق را بطور زمان واقعی نمایش دهد. در خصوص مدیریت انرژی و در نهایت ایجاد یک مرکز خودکار دیسپاچینگ، لازم است اطلاعات کاملی از شبکه و پارامترهای الکتریکی آن در دست باشد تا از این طریق بتوان به مدیریت انرژی و بهینه سازی آن بر اساس اطلاعات مطمئن اقدام نمود. همچنین با اندازه گیری کمیتهای مختلف، این وسیله می تواند نقش کنتور چند تعرفه را نیز داشته باشد و انرژی مصرفی را اندازه گیری نماید. بنابراین زمان واقعی کمیتهای و ارسال اطلاعات به یک مرکز (از طریق خط تلفن) و همچنین ثبت حوادث و اتفاقات قادر است به اهداف مورد نظر که فراهم کردن برق تحویلی به مشترکین با کیفیت مطلوب و با هزینه کمتر است کمک شایانی بنماید.



دستگاه جمع آوری و ثبت پارامترهای الکتریکی

مقدمه

یکی از ضعفهای مهم شبکه‌های توزیع، عدم وجود یک سیستم دیسپاچینگ و مانیتورینگ خطوط است به طوری که در بخش مانیتورینگ اطلاعات نقاط مهم قابل رؤیت و قابل بررسی آماری و پیش‌بینی باشد. هم‌اکنون سیستم‌های SCADA در شبکه‌ها نقش مهمی را اجرا می‌کنند، سیستم‌هایی که قابلیت اطمینان بالایی داشته و علاوه بر مانیتورینگ اطلاعات، کنترل از راه دور را نیز به عهده دارند. در حال وجود دستگاهی که از آن بتوان به عنوان ثبت اطلاعات استفاده نمود و قابلیت ارسال اطلاعات را به سیستم مرکزی از طریق خطوط مخابراتی داشته باشد، برای ایجاد مراکز مشاهده و دیسپاچینگ امری مهم و ضروری است لذا بر آن شدیم که در ابتدا اولین گام را جهت ساخت سخت‌افزاری برداریم که هم ارزانتر از نمونه‌های خارجی تمام شود و هم تا حدود زیادی نیازهای موجود را رفع نماید. نیازهایی که بیشتر جنبه گذرا ندارند مانند ثبت ولتاژ، جریان، اختلاف فاز، توان اکتیو و راکتیو، RMS، پیک و مقادیر ماکسیمم و مینیمم دوره‌ای و همچنین بررسی اغتشاش‌های هارمونیک ولتاژ و جریان و اندازه‌گیری هارمونیکها تا مولفه بیستم و... که ثبت و ارسال می‌شوند، که این پروژه در دو بخش سخت‌افزار و نرم‌افزار (سیستم مانیتورینگ زمان واقعی اطلاعات و ارسال و ثبت آنها) خلاصه می‌شود.

۱- مشخصات

الف-۱- انتخاب سخت‌افزار مناسب:

اولین گام انتخاب سخت‌افزار مناسب یا بهتر بگوییم انتخاب نوع میکروپروسسور یا میکروکنترلر است. با بررسی‌های متعددی که به عمل آمده، برای محاسبات سریع، پیچیده و Floating که مدنظر است استفاده از میکروپروسسور و میکروکنترلر میسر نبوده و لذا باید سراغ آی‌سی‌های DSP برویم که نهایتاً با یک بررسی متوجه می‌شویم که می‌توانیم بدلائل زیر به راحتی از مادربرد PC استفاده کنیم زیرا:

الف-۱-۱- در دسترس بودن پورت سریال RS232

الف-۱-۲- در دسترس بودن پورت سریال، پارالل و چاپگر

الف-۱-۳- در دسترس بودن پورت کارت گرافیک برای اتصال به مانیتور در صورت لزوم

الف-۱-۴- امکان استفاده از حافظه نامحدود

الف-۱-۵- امکان استفاده از INTERFACE آسان و سریع

الف-۱-۶- حجم مادربرد با امکانات وسیعی که دارد مناسب است

الف-۱-۷- برنامه نویسی بسیار ساده و نامحدود

الف-۱-۸- سرعت CPU های نصب شده بر روی مادربردها بسیار بالاتر از میکروکنترلرهای موجود است.

الف-۱-۹- فراوانی در بازار و اقتصادی بودن آنها.



البته باید خاطر نشان کنیم که ما فقط از مادربرد استفاده کرده‌ایم و سیستم PEE مجهز به هارد، فلاپی و عناصر مکانیکی نیست و ما برای ثبت و ضبط اطلاعات و برنامه اصلی از E2PROM در کارتهای فلاش رم استفاده کرده‌ایم.

۱-ب- استخراج پارامترهای مورد نظر

پارامترهای الکتریکی مورد نظر که دستگاه PEE استخراج می‌کند به قرار زیر است:

- ولتاژ و جریان پیک و rms
- اختلاف فاز
- توان اکتیو و راکتیو هر فاز
- فرکانس
- نوع PF از نظر اندوکتیو، کاپاسیتیو یا مقاومتی
- شکل موجهای ولتاژ و جریان سه فاز
- هارمونیکهای تا مولفه بیستم زوج و فرد برای ولتاژ و جریان هر فاز
- THD ولتاژ و جریان .
- توانهای هارمونیک مولفه‌ها
- مقادیر ماکسیمم و مینیمم تمامی پارامترهای فوق در طی شبانه روز
- میزان تعداد نمونه‌ها بر هر سیکل نیز قابل مشاهده و گزارش است

۱-ج- نحوه نمونه گیری

چون A/D مورد استفاده ۱۲ بیتی است، لذا خطای هر پله حدود 0.15 ولت است و بدلیل محدودیت سرعت، در هر نیم آلترانانس حدود ۱۰۰ نمونه بیشتر نمی‌توانیم بگیریم و به همین دلیل فواصل نمونه‌های ما بطور متوسط ۳ ولت است. (البته در آستانه صعود موج یا نزول، ۳ ولت است ولی در نقاطی که شیب حرکت کمتر است، فواصل نیز کمتر است.)

اگر از تمام ظرفیت یا سرعت A/D استفاده می‌کردیم، یعنی برای هر نیم آلترانانس ۲۰۴۸ نمونه می‌گرفتیم، آنگاه خطا در هر نمونه ۰/۰۵ درصد می‌بود. اما به دلیل محدودیت در سرعت نمونه‌گیری با وضعیت موجود خطای نمونه‌ها در حدود کمتر از ۱ درصد است. (مثلاً برای محاسبه rms خطا حدود ۲ درصد خواهد بود. یعنی در بدترین شرایط اگر همه نمونه‌ها ۱ درصد خطا داشته باشند. محاسبه rms حداکثر ۲ درصد خطا خواهد داشت.)

۱-۵- AUTOMATIC SETTING

تشخیص گذر از صفر به صورت نرم‌افزاری و دقیق صورت می‌گیرد و تعداد نمونه هادر هر سیکل شرایط



مداری متغیر است و در محاسبات هیچ تاثیری نمیگذارد. زیرا تعداد نمونه‌ها برای هر محاسبه مشخص است. ضمناً اختلاف فازی که CT های دستگاه اعمال می کنند توسط نرم افزار بایک ضریب ثابت که قابل تغییر است تنظیم و جبران شده است.

۱- ERROR HANDLING

یکی از موارد مهم در نرم افزار تشخیص خطاهای احتمالی و پاسخگویی مناسب به خطاهاست که از جمله اشتباه خواندن از A/D و یا معیوب شدن قطعات سخت‌افزاری است که این مهم در سیستم بطور اتوماتیک انجام میگردد.

۲- محاسبات نرم افزاری

بطور خلاصه از هر فاز حدود ۳ تا ۵ سیکل نمونه‌گیری می‌شود و یک سیکل کامل از آن جدا می‌شود و به سطح محاسبات ارسال می‌شود. (بهترین سیکل از نظر دقت نمونه‌گیری به روش نرم‌افزاری انتخاب می‌شود).

۲-الف- محاسبه مقدار RMS

$$\sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V^2(t) dt}$$

تمام نمونه‌های سیکل نمونه، بر اساس فرمول:

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} V[n]^2}$$

محاسبه می‌شوند که البته انتگرال به \sum تبدیل می‌گردد.

۲-ب- مقدار پیک

ماکسیمم نقطه شکل موج به عنوان پیک اعلام می‌گردد.

همانطور که انتظار هم می‌رود $V_p \# V_{rms} / \sqrt{2}$ است.

۲-ج- اختلاف فاز

اگر M تعداد نمونه‌های بین دو گذر از صفر ولتاژ و جریان باشد، آنگاه اختلاف فاز برابر است با تعداد M بخش بر تعداد کل نمونه‌های هر سیکل ضربدر ۳۶۰:

$$\phi = M/N * 360$$



۲-۵- توان اکتیو و راکتیو

توان‌های اکتیو و راکتیو به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$P = V_{rms} * I_{rms} * \cos(\varphi)$$

$$Q = V_{rms} * I_{rms} * \sin(\varphi)$$

۲-۵-۰ هارمونیکها

ضرایب هارمونیکی

$$x = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X[n] e^{-j(k2\pi/N)n}$$

$$\phi = \text{tg} \frac{\text{Im}(a_k)}{\text{Re}(a_k)}$$

$$a_k = \text{Re}(a_k) + j \text{Im}(a_k)$$

$$a_0 \cong 0$$

$$a_1 \cong S_0 + S_1 e^{-j2\pi/N} + S_2 e^{-j4\pi/N} + \dots + S_{N-1} e^{j2\pi/N}$$

$$a_2 \cong S_0 + S_1 e^{-j4\pi/N} + S_2 e^{-j8\pi/N} + \dots + S_{N-1} e^{j4\pi/N}$$

$$\text{Re}[a_1] = S_0 + S_1 \cos(2\pi/N) + S_2 \cos(4\pi/N) + \dots + S_{N-1} \cos(2\pi/N)$$

$$= S_0 + (S_1 + S_{N-1}) \cos 2\pi/N + (S_2 + S_{N-2}) \cos 4\pi/N + \dots + (S_{N/2-1} + S_{N/2}) \cos(1-\pi/N)$$

$$-\text{Im}[a_1] = S_1 \sin(2\pi/N) + S_2 \sin(4\pi/N) + \dots + S_{N-1} \sin(2\pi/N)$$

$$=(S_1+S_{N-1})\sin(2\pi/N)+(S_2+S_{N-2})\sin(4\pi/N)+\dots+(S_{N/2-1}+S_{N/2})\sin(1-\pi/N)$$

$$|a_k| = \sqrt{\operatorname{Re}^2 [a_k] + \operatorname{Im}^2 [a_k]}$$

۲-و- THD

1/2

(توان هارمونیکی)
< مؤلفه ها - ۱ >

اندازه مؤلفه اول

۲-ز- مقادیر ماکزیمم و مینیمم

در طول شبانه روز تمامی مقادیر ماکزیمم و مینیمم پارامترها ثبت می‌شوند.

۳- ثبت اطلاعات

پریود ثبت اطلاعات قابل تنظیم است و با توجه به اینکه اگر تمامی پارامترهای مورد نظر ثبت شوند. حدود ۵۰۰۰ بایت در هر رکورد اطلاعاتی حجم دیسکت را اشغال میکنند، باید در تنظیم زمانهای ثبت دقت لازم را مبذول نمود. در حال حاضر در هر ۲۰ دقیقه یکبار حدود ۳۰۰ بایت اطلاعات ذخیره می‌شود.

۴- نحوه ارسال و تبادل اطلاعات

نحوه مشاهده و ارسال و دریافت اطلاعات به دو روش امکان پذیر است:

۴- الف- ارتباط مستقیم توسط پورت، سریال RS232 به کامپیوتر یا NoteBook و اجرا کردن برنامه خاصی که مخصوص این کار نوشته شده است. (PEEWINSE.EXE)
که در این روش، ابتدا رکورد اطلاعاتی موجود تخلیه شده و سپس تمامی اطلاعات قبلی از دستگاه PEE،

download می‌گردد. هر بسته اطلاعاتی ۲۵۶ بایت و روش بصورت goback و سرعت ۱۲۰۰ بیت بر ثانیه است.

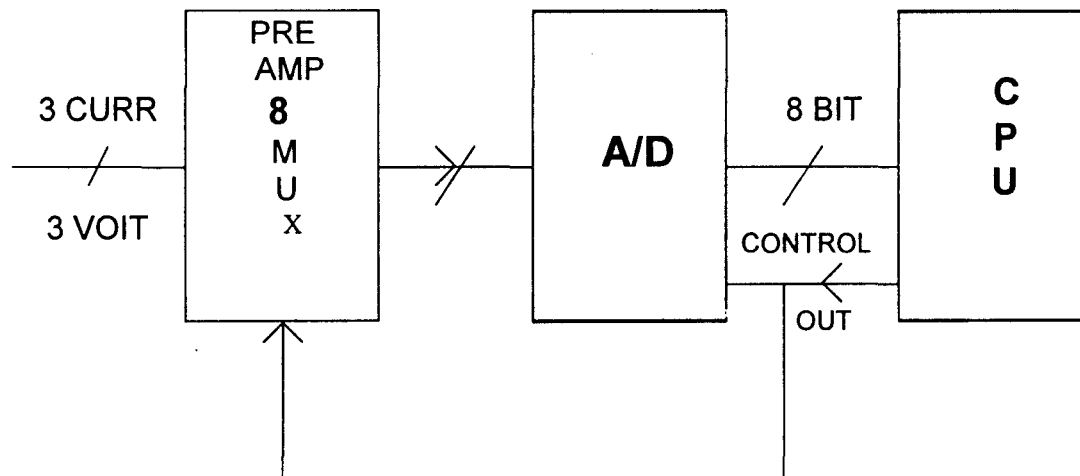
۴- ب- ارتباط از راه دور توسط خط تلفن و دستگاه مودم، در این حالت باید دستگاه‌های PEE به یک دستگاه مودم مجهز گردد و از طریق خط تلفن از راه دور شماره‌گیری انجام گردیده و اطلاعات تخلیه شود.

۵- نحوه باز نویسی فایل‌های ثبت شده

در صورتیکه فایلها به موقع تخلیه نشوند و حجم دیسک رم به حد کامل اشغال گردد، اطلاعات از ابتدای فایل ذخیره می‌شوند.

۶- بخش سخت افزار

همانطور که گفتیم، بر آن شدیم که از مادربرد کامپیوتر استفاده کنیم و بنابراین لازم بود کارت کامپیوتری طراحی نمائیم که نقش interface بین مادربرد و ورودیها را بر عهده بگیرد.



برای این منظور ابتدا آدرسهای ۳۱F - ۳۰۰ را دیکد کردیم و ۸ بیت دیتا را با تعدادی از این آدرسها در اختیار گرفتیم و از یک ۱۲ A/D بیت برای تبدیل اطلاعات برای این منظور ابتدا آدرسهای ۳۱F - ۳۰۰ را دیکد کردیم و ۸ بیت دیتا را با تعدادی از این آدرسها در اختیار گرفتیم و از یک ۱۲ A/D بیت برای تبدیل اطلاعات آنالوگ به دیجیتال استفاده نمودیم. هر بسته اطلاعاتی در هر لحظه، مربوط به یک فاز ولتاژ یا جریان و به طول ۱۲ بیت است. به این صورت که با یک مالتی پلکس ساده ۶ کانال ولتاژ و جریان را به صورت مرحله به مرحله به A/D مورد نظر هدایت کردیم. قبل از مالتی پلکس نیز، تقویت کننده هایی که گین آنها

توسط یک مالتی ترن قابل تنظیم است، سیگنال را تقویت می‌کند و نهایتاً بسته‌های اطلاعات به طول ۱۲ بیت برای هر بار نمونه‌گیری تهیه می‌شوند.
بنابراین سخت‌افزار به همین سادگی است که مشاهده می‌نمائید. هیچ تایمر و هیچ آشکارساز صفر و غیر،... در مدار نیست و تمامی موارد حتی فرکانس، به صورت نرم‌افزاری انجام می‌پذیرد. (برای محاسبه فرکانس از تایمر خود مادربرد استفاده می‌گردد.) برای مقایسه دستگاه PEE با یک دستگاه مرجع و استاندارد (3720ACM) این دستگاهها در یکی از پستهای شرکت توزیع نیروی برق استان خراسان نصب گردیده و نتایج به شرح ذیل حاصل گردید.

منابع

- ۱- «مدارهای واسطه» ترجمه دکتر پیروی دانشگاه فردوسی مشهد
2. “80386 programming and I/O Interfacing” L. Chung
3. “Z80 Family” Zilog Company

جدول ۱: مقایسه پارامترهای بدست آمده از دو دستگاه PEE و 3720 ACM

واحد	3720 ACM	PEE	پارامترها / دستگاه ها
ولت	۲۳۱	۲۳۱/۱۱	ولتاژ rms فاز یک
ولت	۲۳۳	۲۳۳/۷۵	ولتاژ rms فاز دو
ولت	۲۳۵	۲۳۵/۱	ولتاژ rms فاز سه
آمپر	۵۳	۵۳/۹۱	جریان rms فاز یک
آمپر	۳۶	۳۵/۸۷	جریان rms فاز دو
آمپر	۴۳	۴۲/۷۹	جریان rms فاز سه
-	۸۵	۸۶	ضریب توان فاز یک
-	۸۷	۸۷	ضریب توان فاز دو
-	۹۱	۹۱	ضریب توان فاز سه
kw	۱۰	۱۰/۷۱	توان اکتیو فاز یک
kw	۷	۷/۲۹	توان اکتیو فاز دو
kw	۹	۸/۹۹	توان اکتیو فاز سه
KVAR	۶	۶/۳۵	توان راکتیو فاز یک
KVAR	۴	۴/۱۳	توان راکتیو فاز دو
KVAR	۴	۴/۱۷	توان راکتیو فاز سه



جدول ۲- مقایسه پارامترها در دو دستگاه P.E.E و 3720ACM

3720 ACM	P.E.E	پارامترها ↓ دستگاه‌ها ←
۳/۵	۳/۵۵	THD ولتاژ فاز یک
۴/۲	۳/۶۶	THD ولتاژ فاز دو
۳/۹	۳/۶۰	THD ولتاژ فاز سه
۲۵/۱	۲۵/۳	THD جریان فاز یک
۱۲/۴	۱۳/۴	THD جریان فاز دو
۱۵/۸	۱۴/۹	THD جریان فاز سه
%۲۳/۱	%۲۳/۹	درصد هارمونیک سوم جریان فاز I
%۸/۷	%۸/۳۸	درصد هارمونیک پنجم جریان فاز I
%۴/۸	%۴/۷۲	درصد هارمونیک هفتم جریان فاز I
%۲/۸	%۳	درصد هارمونیک سوم جریان فاز II
%۷/۴	%۷/۹	درصد هارمونیک پنجم جریان فاز II
%۴/۴	%۴/۴	درصد هارمونیک هفتم جریان فاز II
%۹/۹	%۹/۲	درصد هارمونیک سوم جریان فاز III
%۴/۵	%۴/۳	درصد هارمونیک پنجم جریان فاز III
%۴/۵	%۴/۳	درصد هارمونیک هفتم جریان فاز III
۵۰/۰.۴	۵۰	فرکانس HZ