ورقة بحثية مقترحة

العنوان:

تصوير وتحليل توزيع الإشارة على لوحة PCB باستخدام قلم حساس عالي التردد لرصد الأعطال

الملخص (Abstract)

تهدف هذه الدراسة إلى تطوير نظام غير مدمّر لفحص لوحات الدارات المطبوعة (PCB) عبر رسم خريطة مرور الإشارة الكهربائية. يعتمد النظام على حقن إشارة AC عالية التردد وتيار منخفض في مسار محدد على اللوحة، ومسح اللوحة بواسطة قلم حساس كهربائي عالي الممانعة لالتقاط المجال الكهربائي. يتم جمع البيانات وتحويلها إلى صورة رقمية تبين مسار الإشارة، مع القدرة على تحديد مناطق القطع أو القصر. النتائج المتوقعة تظهر فاعلية هذا الأسلوب في فحص الأعطال بدقة وسرعة دون التأثير على مكونات اللوحة.

المقدمة (Introduction)

تعد عملية فحص لوحات PCB واكتشاف الأعطال من أهم التحديات في الإلكترونيات الحديثة. الطرق التقليدية مثل الفحص البصري أو اختبار الدارة أثناء التشغيل غالبًا ما تكون محدودة في القدرة على تحديد مواضع الأعطال بدقة، خصوصًا في اللوحات متعددة الطبقات أو الدقيقة.

تسعى هذه الدراسة إلى تقديم تقنية غير تلامسية وغير مدمرة، تقوم برصد الإشارة على سطح PCB وتحويلها إلى خريطة رقمية دقيقة تعكس توزيع الكهرباء عبر المسارات والمكونات.

مراجعة الأدبيات (Literature Review)

أظهرت الدراسات الحديثة أهمية استخدام مسح المجال القريب (near-field scanning) لرصد الإشارات على أسطح PCB، سواء عبر المجسات السعوية (capacitive probes) أو المجهر الميكروويفي القريب.

كما أظهرت أبحاث تحليل الانعكاسات الكهربائية في التردد العالي (High-Frequency Reflection Analysis) إمكانية كشف القصر والقطع بدقة عالية.

يستفيد هذا البحث من هذه المبادئ، مع تطوير قلم حساس يحرك فوق المسارات ويقيس شدة الإشارة، ليتم تحويلها إلى صورة ثنائية الأبعاد تمثل توزيع الجهد على اللوحة.

المنهجية (Methodology)

1. حقن الإشارة

مولد إشارة AC عالي التردد (5–15MHz 10–1 ،V)، تيار منخفض (<10 mA).

توصيل الإشارة إلى طرف بداية المسار على PCB مع وجود مرجع أرضي ثابت.

2. القلم الحساس

رأس نحاسي صغير (1–2 مم) يمر فوق سطح اللوحة.

FET Input Op-Amp عالي الممانعة (>10 MΩ) يلتقط المجال الكهربائي.

إشارة القلم تُحوّل عبر Envelope Detector إلى خرج تناظري مناسب للقراءة الرقمية.

3. جمع البيانات

تحريك القلم على محور X/Y لتغطية كامل سطح PCB.

قراءة الإشارة في كل نقطة بواسطة ADC على متحكم دقيق (Arduino/ESP32).

إرسال البيانات للحاسوب لمعالجة الصورة.

4. معالجة البيانات

إنشاء Heatmap رقمية تمثل شدة الإشارة في كل نقطة.

مناطق شدة منخفضة ← احتمالية قطع

مناطق شدة متغيرة أو عالية جدًا ← احتمالية قصر

مسارات طبيعية ← اللون يظهر بانتظام

النتائج المتوقعة (Expected Results)

رسم خريطة دقيقة لمسار الإشارة على PCB.

تحديد أماكن القطع أو القصر بشكل واضح.

إمكانية معايرة النظام للوحات متعددة الطبقات.

تقليل الحاجة للفحص اليدوي أو التفكيك.

الخاتمة (Conclusion)

يقدّم هذا البحث تقنية مبتكرة غير مدمرة لفحص لوحات PCB، تعتمد على حقن إشارة عالية التردد ومسح المجال الكهربائي السطحي.

النظام المقترح يوفر أداة قوية لتصوير توزيع الإشارة واكتشاف الأعطال بدقة، مما يسهم في تحسين جودة الإنتاج واختبار الدارات الإلكترونية.

التطوير المستقبلي يمكن أن يشمل تحسين خوارزميات تحليل البيانات، وتصميم مسبار أكثر دقة، ودعم لوحات PCB متعددة الطبقات.