

Stanovení opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřicího systému, určení nejistoty měření

Cvičení KET/MET 2016

Cvičení: čtvrtek 07:30 – 09:10

Datum měření: 28. 4. 2016

Vypracoval: Bc. Martin Zlámal

Zadání

1. Provedte řízený experiment pro určení opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřicího systému pro kontrolu odporů. Měřicím systémem je multimetr s kabeláží, odpor v přípravku / mimo přípravek a obsluha.
2. Provedte vyhodnocení opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřicího systému v tabulkovém procesoru a rozhodněte, zda je měřicí systém přijatelný či nikoliv.
3. Analyzujte výsledky a určete vlivy na systém měření.
4. Z naměřených hodnot určete nejistoty typu A, nejistoty typu B a určete celkovou a rozšířenou nejistotu měření.

Teoretický úvod

Analýza systému měření (MSA – Measurement Systems Analysis) slouží k vyhodnocení daného systému měření. V našem případě je měřicím systémem multimetr s kabeláží, odpor v přípravku (resp. mimo přípravek) a obsluha. Tento způsob analýzy je většinou součástí řízení kvality a jakosti. Při takové měření měření se projevuje variabilita měřicího přístroje i variabilita operátora. Proto se zavádí tzv. opakovatelnost a reprodukovatelnost.

Opakovatelnosti dosáhneme použitím jednoho měřicího přístroje, který používá jedna obsluha, která měří jednu danou veličinu, která nás zajímá na jednom jasně daném zařízení či přípravku. Oproti tomu reprodukovatelnost zajišťuje jistou přenositelnost měření. Provádí se různou obsluhou avšak pomocí stejného měřicího přístroje, kdy měříme stále stejnou veličinu na stejném zařízení. O reprodukovatelnosti měřidel se mluví tehdy, pokud obsluha zůstává stejná, ale měníme měřidla.

Nejistota měření je relativně nová metodika měření rozšiřující klasické chyby měření. Nejistoty využívají statistiky a pravděpodobnosti k určení intervalu, ve kterém se s určitou pravděpodobností měřená veličina skutečně nachází. Nejistoty závisí nejen na přesnosti měřidel, ale také na metodě měření a na náhodných vlivech. Rozlišujeme nejistoty typu A a B. Sloučením těchto nejistot dostáváme tzv. kombinovanou nejistotu. Nejistoty typu A se vyhodnocuje statistickými metodami ze změřených dat. pro správný výpočet je nutné nezávisle a náhodně opakovat měření za stejných podmínek. Nejistota typu B vychází analýzou naměřených hodnot a z racionálních úsudků.

Postup měření

Každý z celkem tří vybraných měřičů měl k dispozici ohmmetr a měřil celkem deset rezistorů v náhodném pořadí. Toto měření se pro každého opakovalo celkem třikrát. Po ukončení této první série proběhlo ještě jedno obdobné řešení, ale tentokrát byl každý rezistor uchycen v přípravku a obsluha se tak rezistorů nedotýkala přímo. Opakovatelnost měření EV se spočte pomocí tohoto vztahu:

$$EV = K_1 \cdot R''$$

kde K_1 je faktor, který je funkcí počtu opakování m a součinu počtu vzorků g . V našem případě se jeho hodnota rovná $K_1=0.5908$ (zadáno). R'' je celkové průměrné rozpětí měření operátorů:

$$R'' = \frac{1}{n} \cdot \sum_{k=1}^n R'_k$$

n je počet operátorů (3) a R'_k je v tomto případě průměrné rozpětí jednotlivých operátorů:

$$R'_k = \frac{1}{g} \cdot \sum_{i=1}^g R_{ik}$$

g je počet vzorků (10) a R_{ik} je rozpětí pro každý prvek a operátora:

$$R_{ik} = |\max(x_{ijk}) - \min(x_{ijk})|$$

kde x_{ijk} zastupuje i -tý vzorek při j -tém měření k -tým operátorem. Hodnota EV vyšla pro měření bez přípravku $\sim 7.186 \cdot 10^{-3}$ a $2.560 \cdot 10^{-5}$.

Reprodukovatelnost měření AV se vypočte velmi podobně jako EV s tím rozdílem, že nás tentokrát zajímají aritmetické rozdíly mezi vzorky, nikoliv rozpětí v naměřených hodnotách. AV se vypočte pomocí tohoto vztahu:

$$AV = \sqrt{(K_2 \cdot R_k)^2 - \frac{(EV)^2}{g \cdot m}}$$

kde K_2 je faktor, který je funkcí počtu vzorků g a operátorů n (v našem případě $K_2=0.5231$). m je počet operátorů (3) a R_k je rozpětí mezi operátory:

$$R_k = \max(x'_k) - \min(x'_k)$$

x'_k je aritmetický průměr každého operátora:

$$x'_k = \frac{1}{g} \cdot \sum_{i=1}^g x_{ik}$$

kde x_{ik} je aritmetický průměr pro každý vzorek a operátora z m opakování:

$$x_{ik} = \frac{1}{m} \cdot \sum_{j=1}^m x_{ijk}$$

AV vyšla v našem měření $\sim 5.814 \cdot 10^{-2}$ pro měření bez přípravku resp.

$3.455 \cdot 10^{-5}$ pro měření s přípravkem. Pro rozhodnutí zda-li je celý systém

přijatelný však potřebuje vypočítat procentní hodnotu GRR (Gauge Repeatability and Reproducibility). To vypočteme využitím tohoto vztahu:

$$GRR[\%] = \left(\frac{GRR}{TV} \right) \cdot 100 \quad GRR = \sqrt{(EV^2 + AV^2)}$$

TV je celková variabilita (Total Variation):

$$TV = \sqrt{(EV^2 + AV^2 + PV^2)}$$

PV je variabilita mezi vzorky (Part Variation). Vše ostatní jsou již známé hodnoty. PV vypočteme podle vztahu:

$$PV = K_3 \cdot R_i$$

K_3 je faktor, který je funkcí počtu vzorků g . V našem případě je $K_3 = 0.3146$. R_i je rozpětí aritmetických průměrů pro každý měřený rezistor. Procentní hodnota GRR vyšla více než 99% pro měření bez přípravku. To signalizuje, že je systém nepřijatelný a veškeré úsilí se musí vynaložit na jeho zlepšení. Nutno dodat, že veškeré úsilí znamená v tomto případě pokárat prvního pracovníka, který nedbal na doporučený postup měření rezistorů, což způsobilo, že oproti ostatním pracovníkům naměřil hodnoty s podivuhodně velkou nepřesností. Naopak při měření s přípravkem vyšlo GRR rovno $\sim 0.554\%$, což je velmi malá hodnota a říká, že systém se považuje za přijatelný.

Nejistota typu A je výsledkem statistické analýzy s tím, že musíme započítat korekční koeficient $k=1.2$, protože počítáme jen s devíti prvky místo s desíti:

$$u_A = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}')^2}$$

Nejistota B je o něco složitější, protože musíme uvažovat jednak vliv měřicího přístroje a jednak vliv obsluhy. Měřicí přístroj má katalogově danou přesnost $0.1\% + 3\text{dgt}$. Dílčí nejistota se spočte jako největší odchylka (daná touto přesností) dělená koeficientem určujícím předpokládané rozdělení. Tento koeficient je u počítání vlivu přístroje roven odmocnině ze tří, což je rovnoměrné rozdělení. Naopak u vlivu obsluhy uvažují normální rozdělení, tedy koeficient 2. Zároveň u vlivu obsluhy uvažují chybu obsluhy 0.01% . Vypočtené hodnoty viz tabulkový editor.

Závěr

Ačkoliv vyšlo GRR při měření bez přípravku katastrofálně, tak si dovolím učinit závěr, že celé měření bylo znehodnoceno prvním měřením, kdy měl pracovník vlastní hlavu a nedbal správných doporučení na měření odporů. Proto změřil všechny odpory špatně a celé měření se tím ovlivnilo. Obecně ale lze říci, že (zanedbáme-li výstřelky prvního pracanta) měření se správným přípravkem je mnohem přesnější, snadno opakovatelné i reprodukovatelné. To lze vyzorovat již letným pohledem na naměřené hodnoty.

Co se týče nejistot, tak nejistota typu A vychází pro měření bez přípravku $2.503 \cdot 10^{-2}$ a pro měření s přípravkem $2.828 \cdot 10^{-5}$ což je rozdíl tří řádů. To

jen potvrzuje moje předchozí tvrzení, že s přípravkem je dle očekávání měření přesnější. Možná zajímavější je rozšířená nejistota, do které se započítává koeficient rozšíření $k=2$, kdy se skutečná hodnota nachází v daném intervalu s pravděpodobností 95 % (podle zadání). Ta vyšla pro měření bez přípravku 0.0511 resp. 0.0104 pro měření s přípravkem. To je zhruba pětinašobné zlepšení.