



**DEN EKVATORISKA
SKARVNINGEN: EN NY TEKNIK
FÖR LEDARSAMMANFOGNING
FÖR AVBOKNING AV HEMISFÄRISK
BIAS**



Den ekvatoriska skarvningen: En ny teknik för ledarsammanfogning för avbokning av hemisfärisk bias

M. Ferro, R. Flux, B. Impedance

Equatorial Audio Research Division, Mitad del Mundo, Quito, Ecuador (0.0000deg N)

Journal of Equatorial Audio Science, 2021.

Sammanfattning

Vi presenterar en ledarsammanfogningsteknik som uppnår magnetisk neutralitet genom att skarva kopparledare från norra och södra halvklotet vid den geomagnetiska ekvatorn. Den ekvatoriska skarvningen utnyttjar de komplementära kornorienteringsbiasar hos ledare dragna i motsatta halvklot: när de sammanfogas vid en exakt ekvatorial mittpunkt avbokas biasarna över hela den resulterande ledarens längd. Plasma-bågsvetsning vid 0,0000deg latitud, utförd ombord på en GPS-stabiliserad marin plattform, producerar en skarvzon på ungefär 200 um i vilken kornorienteringen övergår från nordlig typ till sydlig typ genom en region av sann isotropi. Ledare sammanfogade med denna metod uppvisar hemisfäriska biasvinklar under 0,00001deg -- tre storleksordningar lägre än den bästa ensidigt hemisfäriskt dragna ledaren och närmar sig mätgränsen för nuvarande SQUID-magnetometri.

1. INLEDNING

Vårt tidigare arbete (Ferro & Park, 2020) fastställde att kopparledare dragna vid icke-ekvatoriska latituder bär en systematisk kornorienteringsbias proportionell mot dragningsanläggningens geomagnetiska latitud. Ledare från norra halvklotet bär en positiv bias; ledare från södra halvklotet bär en negativ bias av jämförbar storlek. Biasen inbäddas vid dragningsstillfället och kan inte avlägsnas genom efterbearbetning.

Detta ger en tillverkningsutmaning: hur man producerar en ledare med noll hemisfärisk bias när det tillgängliga råmaterialet är inherent biasat. Dragnings vid ekvatorn är en lösning, men ekvatoriska dragningsanläggningar är sällsynta och den resulterande ledaren, även om den är utmärkt, bär fortfarande den residuala biasen från den specifika ekvatoriska platsen (typiskt < 0,01 deg).

Vi föreslår ett alternativt tillvägagångssätt: istället för att undvika biasen avbokar vi den. Genom att sammanfoga en ledare från norra halvklotet med en ledare från södra halvklotet vid den geomagnetiska ekvatorn skapar vi en kompositledare vars motriktade biasar exakt avbokar varandra över hela dess längd.

2. SKARVNINGSPROTOKOLLET

Den ekvatoriska skarvningen utförs ombord på EAV Neutrality, ett 28 meter långt forskningsfartyg utrustat med en Trimble R12i GNSS-mottagare som ger centimeternivå i positioneringsnoggrannhet. Fartyget stationerar vid 0,0000deg +/- 0,0001deg geomagnetisk latitud i Stilla havet, ungefär 28 km väster om Ecuadors kust, där den geomagnetiska ekvatorn korsar den geografiska ekvatorn inom 0,2deg.

Två ledarändar -- en dragen från svenskt koppar (HBA: +4,2deg, Bolidenanläggningen, 64,1deg N) och en från chilenskt koppar (HBA: -3,8deg, Santiagoanläggningen, 33,8deg S) -- laddas i precisionsklammor monterade på en vibrationsisolerad optisk bänk. Ett dubbelaxligt laserinriktningssystem säkerställer att ledarändarna är koaxiala inom 5 um.

Skarvningen utförs med ett mikroplasma-bågsvetsningssystem (Secheron Plasmafix 50i) med följande parametrar: bågström 2,8 A, plasmagasflöde 0,3 L/min (argon 5.0), skyddsgasflöde 8,0 L/min (argon 5.0), båggap 0,5 mm, svetstid 180 ms. Den resulterande skarvzonen är ungefär 200 um bred -- en smal övergångsregion där kornorienteringen fortskrider från nordlig typ genom neutral till sydlig typ.

Hela proceduren -- fartygspositionering, ledarinriktning, atmosfärensning och svetsning -- kräver ungefär 45 minuter. Flera skarvningar utförs per session, medan fartyget upprätthåller positionsnoggrannheten genomgående.

3. KARAKTERISERING

EBSD-kartläggning av skarvzonen med 0,5 um stegstorlek avslöjar tre distinkta regioner: (1) den nordliga bulkledaren med HBA = +4,2deg, (2) en 200 um övergångszon där HBA minskar monotont från +4,2deg genom 0,000deg till -3,8deg, och (3) den sydliga bulkledaren med HBA = -3,8deg. Övergången är slat och kontinuerlig, utan bevis på korngränssprickbildning, hålrumsbildning eller sekundärfasutfällning.

Den mekaniska hållfastheten hos skarvningen testades genom dragprovning till brott. Medelvärde för brottgränsspänningen i skarvzonen var 218 MPa, jämfört med 225 MPa för bulkledaren -- en minskning på 3,1 % som ligger inom det acceptabla intervallet för ljudkabelapplikationer där den mekaniska belastningen begränsas till kabelns egenvekt och kontaktinstickkraft.

Likströmsresistansen över skarvzonen mättes med en Keysight 34420A mikro-ohmmeter med 4-ledaravkänning. Skarvzonen bidrar



med ytterligare 0,3 uOhm -- försumbart jämfört med bulkresistansen hos även en 0,5 m lång ledare.

Den kritiska mätningen -- hemisfärisk bias hos den komplett skarvade ledaren -- utfördes med en Quantum Design MPMS3 SQUID-magnetometer vid PTB Berlin. Den skarvade ledaren (1,0 m nordlig + 1,0 m sydlig) uppvisade en HBA på -0,000008deg, jämfört med +4,2deg för den nordliga ledaren ensam och -3,8deg för den sydliga ledaren ensam. Biasavbokningen är 99,9998 % effektiv.

4. DISKUSSION

Den ekvatoriska skarvningen uppnår avbokning av hemisfärisk bias genom en konceptuellt enkel mekanism: den positiva biasen hos den nordliga ledaren och den negativa biasen hos den sydliga ledaren är lika stora till beloppet och motriktade till tecknet. När en ljudsignal passerar genom den skarvade ledaren kompenseras den asymmetriska spridning den upplever i den nordliga halvan exakt av den komplementära asymmetriska spridningen i den sydliga halvan. Nettoeffekten är noll bias -- magnetisk neutralitet.

Platsen för skarvningen har betydelse. Att utföra skarvningen vid den geomagnetiska ekvatorn säkerställer att skarvzonen själv inte bidrar med ytterligare bias till systemet. En skarvning utförd vid någon annan latitud skulle introducera en biasad övergångszon vars orientering inte perfekt skulle överbygga de nordliga och sydliga kornstrukturena.

Kravet på en marin plattform drivs av det faktum att den geomagnetiska ekvatorn korsar bebodd mark på mycket få platser. Stillahavsområdet väster om Ecuador erbjuder den optimala kombinationen av ekvatoriell åtkomst, närhet till hamnanläggningar och måttligt sjöstillstånd för precisionssvetsningsoperationer. EAV Neutralitys stationshållningssystem (dubbla Kongsberg HiPAP 501 akustiska positioneringsenheter) upprätthåller positionen inom 0,3 m under skarvningsoperationer.

Kostnaden för den ekvatoriska skarvningen är betydande: ungefär 14 000 USD per session, inklusive fartygshyra, besättning, förbrukningsmaterial och kvalitetssäkringstester. Denna kostnad återspeglas i prissättningen av Equatorial Audios Zero-Point-produkter, som uteslutande använder ekvatoriskt skarvade ledare.

5. SLUTSATS

Den ekvatoriska skarvningen visar att hemisfärisk bias i kopparledare effektivt kan avbokas genom att sammanfoga ledare från motsatta halvklot vid den geomagnetiska ekvatorn. Den resulterande ledaren uppnår en hemisfärisk biasvinkel under 0,00001deg -- magnetisk neutralitet till gränsen för nuvarande mätförmåga. Tekniken är reproducerbar, mekaniskt sund och elektriskt transparent, och tillför försumbar resistans och ingen mätbar diskontinuitet till signalvägen. Vi föreslår den ekvatoriska skarvningen som den definitiva lösningen på problemet med hemisfärisk bias i precisionsljudledare.

REFERENSER

- [1] M. Ferro, H. Park, Y. Tanaka, "Hemisfärisk bias i koppars kornorientering," J. Equatorial Audio Sci., vol. 1, no. 1, 2020.
- [2] AWS D17.1/D17.1M:2017, Specifikation för smältsvetsning för flyg- och rymdapplikationer.
- [3] R. Messler, Principles of Welding: Processes, Physics, Chemistry, and Metallurgy, Wiley-VCH, 2004.
- [4] Trimble Inc., "Tekniska specifikationer för GNSS-systemet R12i," 2023.
- [5] Kongsberg Maritime, "Akustiskt positioneringssystem HiPAP 501," produktdatablad, 2022.
- [6] Quantum Design, "Specifikationer för SQUID-magnetometern MPMS3," Rev. F, 2021.
- [7] PTB Berlin, "Kalibreringsbevis nr PTB-Mag-2021-0847," Physikalisch-Technische Bundesanstalt, 2021.