

Antena Dwi Port Dwi Pengutuban Bulat terinspirasi Bahan Meta untuk Sistem Komunikasi Satelit Kecil

(Metamaterial Inspired Dual Port Dual Circular Polarization Antenna for Small Satellite Communication System)

Norsuzlin Mohd Sahar^a, Ahasanul Hoque^{ca}, Touhidul Alam^a & Mohammad Tariqul Islam^b

^aSpace Science Centre (ANGKASA), Institute of Climate Change (IPI), Universiti Kebangsaan Malaysia, Malaysia

^bDepartment of Electrical, Electronic and Systems Engineering, Faculty of Engineering & Built Environment,

Universiti Kebangsaan Malaysia UKM Bangi, Selangor, Malaysia

*Corresponding author: norsuzlin@ukm.edu.my

Received 3 July 2023, Received in revised form 4 April 2024

Accepted 4 May 2024, Available online 30 July 2024

ABSTRAK

Kertas kerja ini membentangkan tentang antena tampalan jalur C pengutuban secara dwi bulat untuk sistem komunikasi satelit kecil. Antena ini terdiri daripada dua struktur tampalan anulus yang berbeza dengan tiga penyalun cincin berbelah. Antena ini direka bentuk dengan mengambil kira persekitaran angkasa dan bentuk terkecil struktur satelit. Ia terdiri daripada bahan substrat yang sesuai dengan ruang angkasa iaitu Rogers 5880 dengan dimensi saiz keseluruhan $85.22 \times 48.59 \times 1.575 \text{ mm}^3$. Antena ini mencapai pengutuban dwi membulat pada frekuensi 5.1 GHz dan 5.2 GHz untuk gelombang pada port, 2 dan 1, masing-masing. Struktur penyalun cincin berbelah telah menyumbang kepada peningkatan gandaan antena dan lebar pancaran berpaksi. Gandaan yang direalisasikan sebanyak 7.29 dB dan 7.33 dB dicapai pada frekuensi operasi 5.1 GHz dan 5.2 GHz dengan lebar pancaran paksi 3dB masing-masing sebanyak 170° dan 153° . Saiz dan prestasi antena menunjukkan bahawa antena boleh menjadi calon yang berpotensi untuk kelancaran operasi dalam sistem komunikasi satelit kecil.

Kata kunci: Pengutuban membulat; jalur C; CP dua; satelit kecil; gandaan tinggi

ABSTRACT

This paper presents a dual circular polarized C-band patch antenna for a small satellite communication system. The antenna consists of two different annular patch structure with three split ring resonators. The antenna is designed considering space environment and the smallest form of satellite structure. The antenna is fabricated space qualified substrate material Rogers 5880 with overall dimension of $85.22 \times 48.59 \times 1.575 \text{ mm}^3$. The antenna achieves circular polarization at 5.1 GHz and 5.2 GHz frequency for port 2 and port 1, respectively. The split ring resonator structures contribute to enhance antenna gain and axial beamwidth. Realized gain of 7.29 dB and 7.33 dB are achieved at 5.1 GHz and 5.2 GHz operating frequency with 3dB axial beamwidth of 170° and 153° , respectively. Antenna size and performance show that the antenna can be a potential candidate for smooth operation of small satellite communication system.

Keyword: Circular polarization; C-band; dual CP; small satellite; high gain

Satelit kecil seperti Orbit Bumi Sederhana (MEO) sentiasa menyediakan akses kos rendah dan sudah lama menggunakan badan angkasa jenis ini untuk pelbagai kegunaan termasuk penyelidikan, ramalan cuaca, komunikasi dan lain-lain. Satelit MEO popular kerana kos yang sangat optimum, faedah operasi dan jisim yang mudah berbanding dengan penyelesaian kontemporari yang tersedia pada masa itu. Sebaliknya, Satelit Kiub (CubeSats) adalah pilihan kos efektif untuk industri satelit, yang dapat diakses oleh orang ramai. CubeSats adalah pada dasarnya dimensi fizikal yang minimum dipanggil sebagai 'nano' disebabkan oleh 1U (10cm × 10cm × 10cm) saiz keseluruhan struktur satelit. Populariti CubeSats telah muncul sejak program pertama bermula pada tahun 1999 di Universiti Stanford. Ini kerana ia menjimatkan kos, dan boleh dibina dengan menggunakan komponen komersil di luar rak. Selain itu, CubeSats boleh berkomunikasi antara satu sama lain di stesen angkasa dan stesen bumi untuk menjalankan banyak fungsi seperti penderiaan jauh (contohnya, pengimejan tanah, pendidikan), penyelidikan angkasa, pengukuran kawasan yang luas dan komunikasi angkasa yang mendalam. Akibatnya, komunikasi antara CubeSats dan stesen bumi adalah kritikal. Antena adalah komponen yang penting dalam sistem komunikasi ini. Sebarang reka bentuk antena untuk CubeSat perlu dipenuhi sekatan saiz dan berat sambil menghasilkan prestasi radiasi antena yang baik. Selain itu, pengutuban membulat dalam antenna juga dijangka bagi memastikan kebolehan komunikasi sebagai orientasi antenna dalam fasiliti CP, imuniti kepada ketidakpadanan pengutuban, mobiliti, keteguhan kepada gangguan cuaca dan pengurangan kesan berbilang laluan. Oleh itu, terdapat cabaran besar bagi penyelidik untuk mereka bentuk antena dengan mematuhi standard CubeSat kepada keselarasan saiz antena dan hubungan perkadaran prestasi. Baru-baru ini, teknologi antena baharu telah membolehkan telekomunikasi kecil berprestasi tinggi, sains dalam orbit Bumi, dan misi CubeSat pertama ke angkasa lepas. Dalam tempoh lima tahun yang lalu, ahli teknologi di Makmal Penggerak Jet (JPL) NASA telah mereka bentuk, menguji, dan berjaya menerbangkan antena kecil yang inovatif dan membolehkan ia berfungsi dengan baik (Abulgasem et al. 2021; Chahat et al. 2019). Sepanjang dekad yang lalu, pelbagai jenis penyelidikan antena telah dilakukan

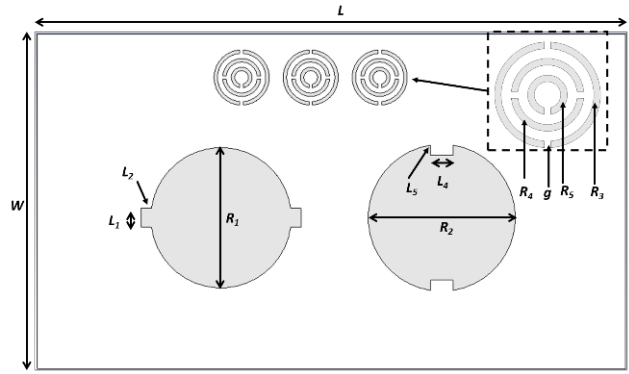
untuk mencapai pengutuban membulat untuk antena satelit (Piltyay 2017; Sahal et al. 2022; Supreayatitukul et al. 2021). Walau bagaimanapun, semua antena ini tidak dibangunkan dengan mengambil kira standard satelit kecil. Pengutuban membulat dengan ruang yang terhad dan gandaan tinggi sangat diperlukan terutama untuk satelit kecil.

Tambahan pula, pengoptimuman faktor-Q tetap menjadi cabaran semasa mereka bentuk pengutuban membulat (CP) jika kita ingin mengekalkan kriteria khusus untuk satelit kecil. Dalam satu suapan, beberapa antena tampalan menunjukkan CP namun tidak dapat menahan kehilangan dengan kecekapan sinaran radiasi yang lemah, sifat terma dan struktur tampalan yang lebih besar. Disebabkan kekangan ini, beberapa teknik telah diguna pakai untuk mencapai pengutuban dwi bulatan seperti konfigurasi bertindan (Alam & Islam 2018), rangkaian suapan alternatif (Yang & Luk 2008), dwi port (Alam et al. 2019), apertur kongsi (Mao et al. 2017) dan suapan kapasitif (Singh et al. 2015), dsb. Reka bentuk antena serupa di mana bahan meta tidak digabungkan menunjukkan had prestasi seperti gandaan dan kecekapan yang rendah. Selain itu, sifat dielektrik rendah berterusan semasa operasi frekuensi tinggi untuk masa operasi yang lama.

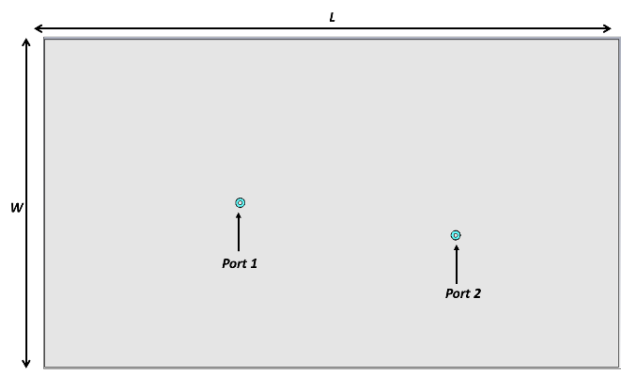
METODOLOGI

REKA BENTUK ANTENA

Antena pengutuban dwi bulat (CP) yang dicadangkan dalam reka bentuk ini mengambil kira standard CubeSat dan bahan kualiti angkasa. Bahan substrat Rogers 5880 yang layak untuk kegunaan di angkasa dipertimbangkan untuk reka bentuk dan simulasi antena. Teknik dua port digunakan untuk pengutuban dwi bulat dan dua tampalan anulus yang berbeza digunakan bagi memastikan pengasingan yang lebih baik. Selain itu, gandaan antena, dan lebar pancaran paksi dicapai dengan struktur bahan meta cincin berbelah (SR) yang terkenal. Susun atur reka bentuk antena digambarkan dalam Rajah 1. Parameter reka bentuk adalah: $L = 85.22$ mm, $W = 48.59$ mm, $L1 = 2.77$ mm, $L2 = 1.48$ mm, $L4 = 3.23$ mm, $L5 = 1.49$ mm, $R1 = 20.34$ mm, $R2 = 21.30$ mm, $R3 = 4$ mm, $R4 = 2.75$ mm, $R5 = 1.5$ mm, $g = 0.5$ mm.



(a)



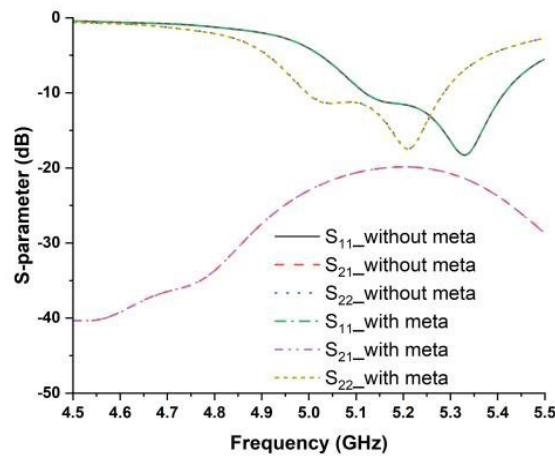
(b)

RAJAH 1. Rekabentuk antenna (a) pandangan hadapan (b) pandangan belakang

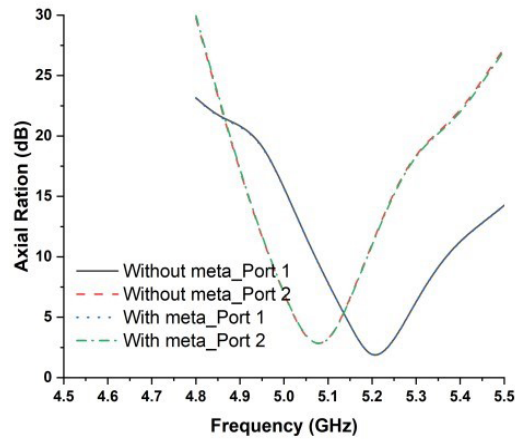
ANALISIS KEPUTUSAN

S-parameter antenna yang dicadangkan adalah dengan dan tanpa bahan meta SR seperti digambarkan dalam Rajah 2. Lebar jalur antenna S_{22} adalah 4.99-5.28 GHz dan lebar

jalur S_{11} pula 5.11-5.42 GHz. S-parameter untuk kedua-dua bahan meta dan tanpa bahan meta adalah sama dengan pengasingan kurang daripada 20dB. Dengan itu, bahan meta SR tidak mempunyai pengaruh pada S-parameter antenna.



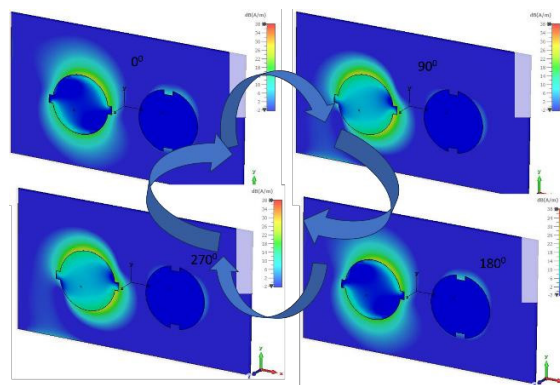
RAJAH 2. S-parameter Antenna



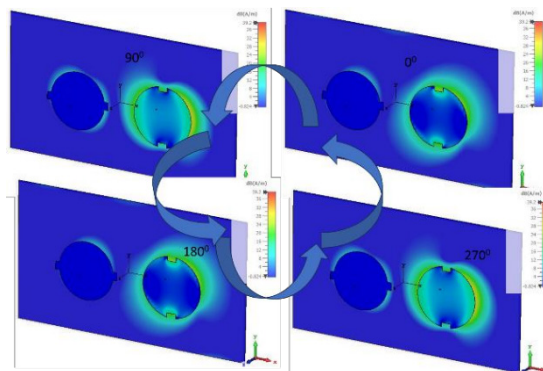
RAJAH 3. Nisbah paksi antenna yang dicadangkan

Nisbah paksi antenna yang dicadangkan adalah seperti Rajah 3. Apabila gelombang port 1 teruja, antenna mencapai prestasi CP pada 5.2 GHz dan apabila port 2 teruja, prestasi CP diperolehi pada frekuensi 5.1 GHz. Dalam prestasi nisbah paksi, bahan meta juga kekal memberi sumbangan yang sama seperti terhasil pada S-parameter. Arus permukaan antenna yang dicadangkan dibentangkan dalam

Rajah 4. Ia menunjukkan bahawa pada Rajah 4(a) port 2 teruja apabila arus permukaan bergerak mengikut arah jam dan menghasilkan penyebaran gelombang pengutuban bulat pada tangan kiri (LHCP). Sebaliknya, apabila port 1 teruja, arus permukaan berputar dalam arah anti-arah jam dan menghasilkan pengutuban bulat pada tangan kanan (RHCP).

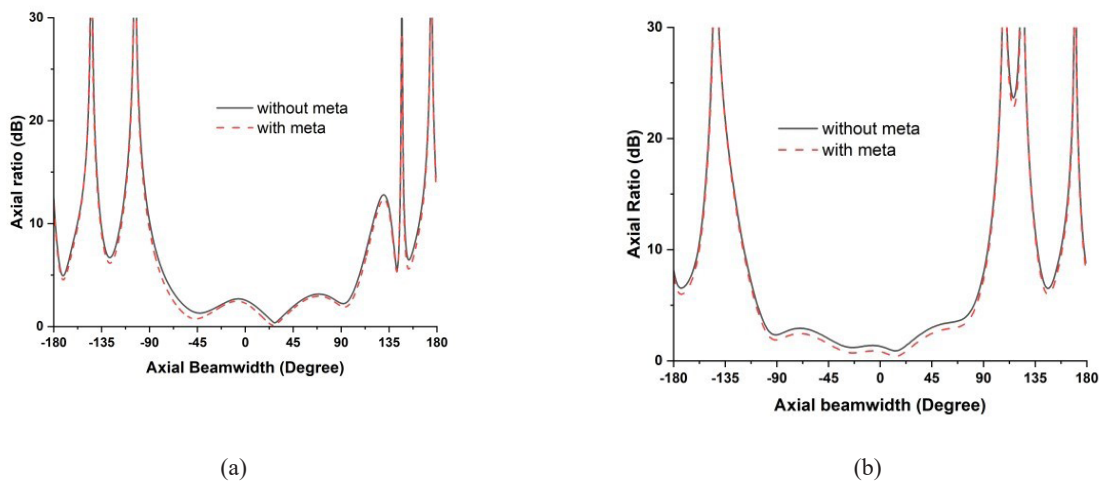


(a)



(b)

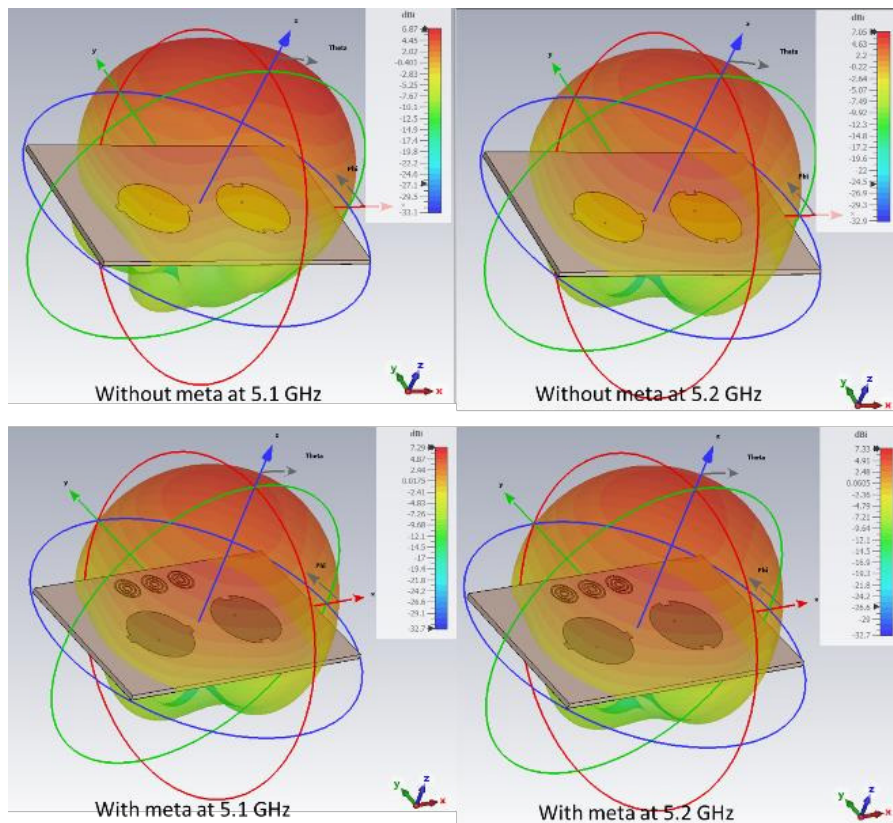
RAJAH 4. Pengedaran arus permukaan antenna yang dicadangkan (tanpa bahan meta SR). (a) pada frekuensi 5.1 GHz untuk gelombang suapan 2. (b) pada frekuensi 5.2 GHz untuk gelombang suapan 1



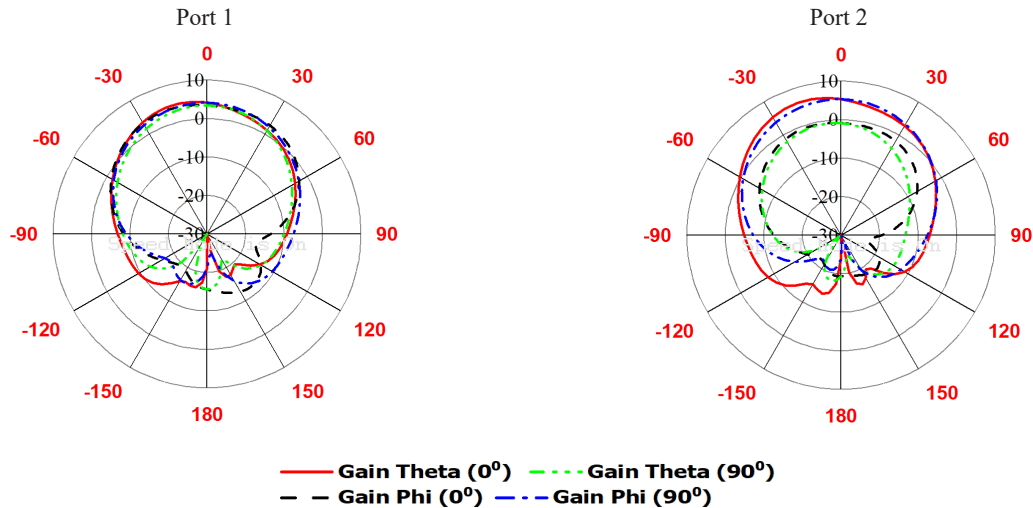
RAJAH 5. Lebar pancaran paksi pada-(a) 5.1 GHz dan (b) 5.2 GHz

Lebar pancaran paksi 3dB antenna yang dibangunkan digambarkan dalam Rajah 5. Antena menunjukkan 170° dan 153° lebar pancaran masing-masing pada frekuensi 5.1 GHz dan 5.2 GHz. Selain itu, dalam kes ini, struktur SR menyumbang dalam meningkatkan lebar pancaran AR sebanyak 10 darjah dan 2 darjah. Gandaan 3D menyedari

antena yang dicadangkan dengan dan tanpa bahan meta ditunjukkan dalam Rajah 6. Corak sinaran kutub 2D dengan bahan meta dibentangkan dalam Rajah 7. Rajah 6 dan 7 menunjukkan bahawa struktur SR juga telah menyumbang kepada peningkatan gandaan sebanyak 0.42dB dan 0.28 dB pada 5.1 GHz dan 5.2 GHz.



RAJAH 6: 3D corak gandaan antenna.



RAJAH 7: 2D corak gandaan antenna

KESIMPULAN

Antena pengutuban dwi membulat jalur C yang bersaiz padat dibentangkan dalam kertas ini. Reka bentuk ini serasi secara eksklusif dengan bentuk satelit kecil IU dan ke atas. Antena ini mencapai lebar paksi 3dB lebar dengan gandaan sedar 7.29 dB dan 7.33dB masing-masing pada frekuensi 5.1 GHz dan 5.2GHz. Oleh itu, saiz padat, lebar pancaran CP yang luas, dan gandaan arahan yang tinggi menjadikan antena adalah penyelesaian yang berpotensi untuk sistem antena bebas kerumitan penggunaan untuk misi ruang satelit kecil jalur C.

PENGHARGAAN

Pengarang mengucapkan terima kasih kepada Universiti Kebangsaan Malaysia atas sokongan kewangan di bawah geran GUP-2022-073.

PENGISYTIHARAN KEPENTINGAN BERSAING

Tiada.

RUJUKAN

- Abulgasem, S., Tubbal, F., Raad, R., Theoharis, P. I., Lu, S. & Iranmanesh, S. 2021. Antenna3 designs for cubesats: A review. *IEEE Access* 9: 45289-45324.
- Alam, T. & Islam, M. T. 2018. A dual-band antenna with dual-circular polarization for nanosatellite payload application. *IEEE Access* 6: 78521-78529.
- Alam, T., Islam, M. T. & Cho, M. 2019. A dual- port circular polarized s-band antenna for nanosatellite communication system. *Journal of Physics: Conference Series*, hlm. 012003.
- Chahat, N., Decrossas, E., Gonzalez-Ovejero, D., Yurduseven, O., Radway, M. J., Hodges, R. E., Estabrook, P., Baker, J. D., Bell, D. J. & Cwik, T. A. 2019. Advanced cubesat antennas for deep space and earth science missions: A review. *IEEE Antennas and Propagation Magazine* 61(5): 37-46.
- Mao, C.-X., Gao, S., Wang, Y., Chu, Q.-X. & Yang, X.-X. 2017. Dual-band circularly polarized shared-aperture array for C-band satellite communications. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* 65(10): 5171-5178.
- Piltyay, S. 2017. High performance extended c- band 3.4–4.8 Ghz dual circular polarization feed system. 2017 XI International Conference on Antenna Theory and Techniques (ICATT), hlm. 284-287.
- Sahal, M., Tiwari, V., Yadav, D. & Bhatnagar, D. 2022. A compact dual-sense circular polarized monopole antenna for C-band communications. *Telecommunications and Radio Engineering* 81(1):
- Singh, D. K., Kanaujia, B. K., Dwari, S., Pandey, G. P. & Kumar, S. 2015. Novel quad-band circularly polarized capacitive-fed microstrip antenna for C-band applications. *Microwave and Optical Technology Letters* 57(11): 2622-2628.
- Supreematitkul, N., Lertwiryaprapa, T. & Phongcharoenpanich, C. 2021. S-Shaped Metasurface-Based Wideband Circularly Polarized Patch Antenna for C-Band Applications. *IEEE Access* 9: 23944-23955.
- Yang, S.-L. S. & Luk, K.-M. 2008. A wideband L-probes fed circularly-polarized reconfigurable microstrip patch antenna. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* 56(2): 581-584.