Bu kısımda motor sürücüler ve CSR sistemini birlikte çalışabilmesinin sistematik olarak teorisi bahsedilecektir. Önceki kısımlarda, birden fazla WPT modülünün aynı anda çalışabildiği ve literaturde gerçekleştirildiği gösterilmiştir. Bu birden fazla çalıştırma işleminin motor sürücü ile nasıl entegre edileceği bir soru işaretidir. Çünkü, motor sürücüler dynamic bir kontrole sahip olup, hızlı cevap vermesi gerekbilmektedir. Bu sebeple, conventional olarak sürülen bir motor sürücüsünde kontrol kısmı ile birlikte ayrı bir WPT sistemi eklemek önemlidir.

Bu kısımda öncelikle, proposed system verilcektir ve genel amaçlanan durum anlatılacaktır. Sonrasında bunları motor sürüclere implement etmek için, geleneksel motor sürücülerinden bahsedilecektir. Bu sürücülerin kontrol algortimalarından ve PWM methodları tartışılacaktır. Sonrasında ise, bu PWM methodları ile multi-frequency independent control nasıl yapılabileceği tartışılacaktır.

Conventional motor drives are investigated firstly in order to implementate of the WPT system in them. The required converters and control methods will be investigated.

**Proposed CSR Sistemi**

A conventional contactless slip ring using IPT systems is shown in Fig.~\ref{fig:general\_structur}.a.Such systems consist of two separate converters to drive the motor and excite the Tx coil. The already existing motor drive in these systems generates high-frequency switching voltage harmonics, which are not desired, and attenuated in the motor phase currents due to high motor inductance.In the proposed system, the Tx coil utilizes these high-frequency voltage harmonics to transfer power to the Rx coil, while the low-frequency modulated current is still used to drive the motor.Thus, a separate IPT converter is no longer required, which reduces the complexity and cost of the overall system. The proposed system, shown in Fig.~\ref{fig:general\_structur}.b, can be used to excite auxiliary systems in the rotating frame for industrial applications such as IoT devices, surveillance cameras, robotic actuators, radars, sensors etc. Since the power ratings of these systems are lower than the power ratings of the main motor, it is possible to use existing conventional motor drive without any modifications.

**Conventional Motor Drives**

Motor drives endüstriyel kullanımda yaygınlaşmışlardı, onlar robotic kollar, conveytor belt’ler gibi üretim aşamasından, radar , elektrikli araçlar, yenilenebilir enerji gibi son ürünlerde kullanılırlar. Geleneksel bir motor drive’in block diagramı verilmiştir.

Motorların tipi göz önüne alındığın DC drives ve AC drives olmak üzere iki ana ksıma ayrılabilir. DC motor drives, motorlara verilen DC’yi ayarlarken hız ve torque kontrolü yaparken. DC motorların aksine, AC motor drive’lar genellikle frequency değişimi ile hızı ayarladıkları için VFD olarakda adlandırılabilirler. Block diagram’dan anlaşılacağı gibi, motor sürücüler DC/DC veya DC/AC converterlera ihtiyaç duymaktadırlar. Bu converteler current source ya da voltage source olarak çalışabilmektedir. VSC’ler generated pulsating output voltage under constant input voltage. Böylelikle, output gerilimi load’dan bağımsız olarak kontrol edilebilir. CSC’ler ise input DC side akımı sabittir ve pulsting output akımı elde edilir ve bu akım load’dan bağımsızdır.

Genellikle VSC’ler için mosfet, IGBT gibi tek taraflı voltage bloke eden anahtarlar ve output kontrolü için PWM teknikleri uygulanır. CSC’ler için diode,thyristor gibi tek taraflı akım geçiren switching anahtarllar kullanılır. (<https://www.quora.com/What-is-the-difference-between-a-current-source-versus-a-voltage-source-converter>)

<http://advances.utc.sk/index.php/AEEE/article/viewFile/1766/1207>

Bu tezde edüstride yaygın bir şekilde kullanılan VSC’li converterler üzerinden ilerleyecektir.

**DC motor drives**

<https://www.site.uottawa.ca/~rhabash/ELG4139DCDrives.pdf>

DC makineler genel olarak iki ana kısımdan field ve armeture’den oluşurlar. Field duran kısım olurken, armature dönen kısımdadır. Field ve armature beslenmelerine göre shunt, series, compound ve seperatelt excited olarak ayrılabilir. DC motor’da hız ve torque kontrolü ayrı, ayrı field ve armature kontrolü ile yapılabilir. Series akımlar, shunt’da gerilimler aynı olurken compoun’da hem seri hem parallel coil vardır. Seperately excited makinelerde ya permanent magnet ya da ayrı bir DC source kullanılır.

Hassas hız ve torque kontrolü gerektiren uygulmalarda, separately excited motorlar tercih edilir ve kontrolü armuteure voltage’I ile sağlanır. Geleneksel bir DC motorun kontrolü block diagramda gösterilmiştir. Converter olarak bir çok farklı topoloji kullanılabilir, ama voltage source bridge converterler yaygındır.

**Speed and Torque Control**

Seperately excited bir DC motorda, armature gerilimi değiştirilerek hız ve torqu kontrolü yapılabilmektedir. Aşağıdaki figur’de verilen DC motor sistemi ve onun equivalen circuit diagramı verilmiştir. Motorda endüklenen gerilim makine sabiti ve hıza bağlı olarak değişmektedir. Gereken torque ise yine motor sabiti ve akıma bağlıdır. Bu iki durumda istenen hız ve torque için verilmesi gereken gerilim aşağıdaki gibi hesaplanabilir. Bu gerilim değeri VSC kullanılarak, PWM tekniği ile elde edilebilir.

**Applied PWM scheme**

Bir önceki kısımda, seperately excited bir DC motorun spped ve torqu referanslarına bağlı olarak uygulanması gereken gerilimler bulunmuştur. Bu gerilimler full-bridge bir VSC kullanılarak elde edilebilmektedir. Bu sistemde sabit bir gerilim elde edilebilmesi için sabit bir duty cycle verilmesi gerekmektedir. FB sayesinden DC motora, hem positive hem negativf gerilim uygulanbilimektedir, bu da dönüş yönünün ayarlanabildiğini göstermektedir. Uygulanan PWM yüzünden, DC gerilim yanısıra harmonikler oluşabilmektedir.

Bu harmonikler motorun inductance sayesinde akım waveformunda filterelenmektedir. Fakat, biz bu yüksek frekans harmoikleri CSR sistmin exite edebilmek için kullanabiliriz.

Değişken duty cycle’lara göre oluşan harmonikler fourier analysis ile bulunabilmektedir. Anahtarlara verilen PWM’ler şekilde gösterilmiştir. Bu PWM’lerin fourier series alınılığında duty cycle göre harmonikler verildiği gibi elde edilmektedir. Bu harmoniklerin duty cycle göre şekildeki givi modellenebilmektedir.

Bu durumda WPT based CSR sisteminin tasarımı, resonant frekansını switching ile aynı, yerlere getirildiğinde CSR sisteminin bu frekans ile sürülebileceği görülmektedir. Aşğaıda tyik bir CSR sisteminin voltage ve frekans diagramı verilmişitr, burden anlaşılabileceği gibi daha yüksek harmonikler ve DC kısım CSR tarafından filtrelenir.

**Control Methodology for employing the proposed system**

Motor yüksek frekansa sahip olduğu için, PWM’den oluşan anhatarlma frekansındaki harmonikler motorun operasyonunu büyük bir şekilde değiştimez. Sadece ripple miktarı değişir bu da controlcünün akım kontrolü esnasında zorlanması ya da ripple yüzünden akım ratinglerinin artmasına yol açmkatadır.

Duty cycle ile motorun hız ve toruqunun kontrol edildiği gösterilmiştir. Fakat bu D kontolü esnasında, CSR sisteminin input gerilimi sürekli değişmektedir, bu da aytı bir control yapılmadığı sürece CSR powerının ayarlanmaması anlamına gelmektedir. Bu sorun iki farklı eşkilde çözülebilir, ya diğer tarafa bir aktrif converter koyulmalıdır ya da yaygın olarak frekans kontrolü bu system için uygulanmaldıır. Frekans kontrolünde, switching frekansının kontrol edilmesi ile gain oynatılabilmelir.

**AC motor Drives**

Ac makineler genel olarak senkron ve induction makineler olarak ayrılabilirler. Senkron makinelerin field’leri separately excited ya da permanent magnet ile verilebilir. Induction makineler de ise stator’a uygulanan akım yeterlidir. DC motor’lar gibi, AC motor’lardada VSC’ler yaygın olarak kullanılmaktadır, şekilde örenk bir diagram verilmiştir.

% AC motor drives are supposed to generate variable frequency output voltages. They can drive induction machines (IMs), synchronous machines (SMs), etc.

% IMs do not operate at synchronous speed, and the difference between mechanical and electrical speed is called slip.

% For different frequencies and voltages, the torque-speed characteristic is presented in Fig. X.

% Therefore, their speed and torque are controlled via frequency and voltage, and so slip.

% The control diagram of IMs is presented in Fig. X.

% Unlike IMs, SMs have field windings (or permanent magnets). For constant field flux, they are controlled via the stator voltages.

% SMs operated at synchronous speed. Thus, the mechanical speed is directly controlled by the electrical frequency, and torque is adjusted by the current that is controlled by the applied voltage and its phase angle. The control diagram of SMs is presented in Fig. X.

**Speed and Torque Control**

AC motorlarda, DC notorların aksine hem gerilim ve hem de frekans kontrolü yapılmaktadır. Frekans kontrlü ile hız değişimi yapılmakta, olup akım kontrolü gerilim ile sağlanabilmektedir.

Induction ve senkron makinelerde bu kontrol yöntemleri farklı olabilimektedir. Induction makinelerde motorun mekanik hızı elektriksel hızla aynı olmayıp, aralarında slip vardır. Farklı elektriksel frekanslarda ve gerilim değerlerinde hız ve tork eğrileri verilmişitir. Slip ayarlanarak istenilen hızda istenilen torque değeri elde edilebilmektedir.

Senkron makinelerde ise, mekanik hız ile elektriksel hız senkrondur. Torque ise gerilim büyüklüğü ve fazı ayarlanarak, yani akımı ayarlayarak, kontrol edilebilir. Aşağıda senkron makine kontrolü için block diagram gösterilmiştir. Kontrolcü çıkışında istenilen frekans, faz ve

**Applied PWM scheme** Bir önceki kısımda, seperately excited bir AC motorun spped ve torqu referanslarına bağlı olarak uygulanması gereken gerilimler bulunmuştur.

Bu gerilimler 3-phase 2-level bir VSC kullanılarak elde edilebilmektedir.

Bu sistemlerde fundamental frekans’ta istenilen voltage büyüklüğünü veren farklı PWM methodları ile sağlanabilmektedir. Yaygın olarak SPWM, SPWM ve DPWM kullanılmaktadır. Uygulanan PWM methodları yüzünden, AC gerilim yanısıra yüksek frekans swtchinng harmonikler oluşabilmektedir. Bu harmonikler motorun inductance sayesinde akım waveformunda filterelenmektedir. Fakat, biz bu yüksek frekans harmoikleri CSR sistmin exite edebilmek için kullanabiliriz. Değişken duty cycle’lara göre oluşan harmonikler fourier analysis ile bulunabilmektedir.

Anahtarlara verilen PWM’ler şekilde gösterilmiştir. Bu PWM’lerin fourier series alınılığında duty cycle göre harmonikler verildiği gibi elde edilmektedir. Bu harmoniklerin modulation’a göre şekildeki givi modellenebilmektedir. Bu durumda WPT based CSR sisteminin tasarımı, resonant frekansını switching ile aynı, yerlere getirildiğinde CSR sisteminin bu frekans ile sürülebileceği görülmektedir. Aşğaıda tyik bir CSR sisteminin voltage ve frekans diagramı verilmişitr, burden anlaşılabileceği gibi daha yüksek harmonikler ve DC kısım CSR tarafından filtrelenir.

DC makineler genel olarak iki ana kısımdan field ve armeture’den oluşurlar. Field duran kısım olurken, armature dönen kısımdadır. Field ve armature beslenmelerine göre shunt, series, compound ve seperatelt excited olarak ayrılabilir. DC motor’da hız ve torque kontrolü ayrı, ayrı field ve armature kontrolü ile yapılabilir. Series akımlar, shunt’da gerilimler aynı olurken compoun’da hem seri hem parallel coil vardır. Seperately excited makinelerde ya permanent magnet ya da ayrı bir DC source kullanılır. Hassas hız ve torque kontrolü gerektiren uygulmalarda, separately excited motorlar tercih edilir ve kontrolü armuteure voltage’I ile sağlanır. Geleneksel bir DC motorun kontrolü block diagramda gösterilmiştir. Converter olarak bir çok farklı topoloji kullanılabilir, ama voltage source bridge converterler yaygındır.