

XR4151 gerilim-frekans çevirici tümdevresinin çalışmasının bilgisayar ortamında benzetimi

***Erdem ÖZÜTÜRK¹**

¹ Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü, Görükle, Bursa.

ÖZET

XR4151 gerilim-frekans çevirici tümdevresinin bilgisayarla devre simülasyonu yapan birçok programda hazır kullanılabilecek bir modeli bulunmamaktadır. Bu çalışmada devre simülasyonu yapan ve çok yaygın olarak kullanılan Electronics Workbench programı kullanılarak XR4151 tümdevresinin çalışmasının bir benzetimi yapılmaktadır. Bu benzetimde, gerilim kontrollü anahtar, gerilim kontrollü akım kaynağı gibi modelleme yapılarının yanında, işlemsel kuvvetlendirici, 555 zamanlayıcı gibi programda hazır bulunan elektronik elemanlar da kullanılmıştır.

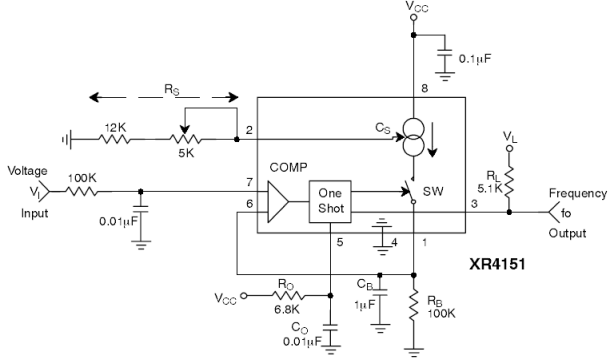
Anahtar Kelimeler:
XR4151,
benzetim.

The simulation of XR4151 voltage-frequency converter integrated circuit operation in computer medium

ABSTRACT

There is no an available model in Electronics Workbench electronic circuit simulation program for XR4151 voltage-frequency converter integrated circuit. In this study a simulation for XR4151 integrated circuit has been made using Electronics Workbench program. In this simulation some of modeling structures like voltage depended switch, voltage depended current source and some electronic components like operational amplifiers, 555 timer which are available in the program are used.

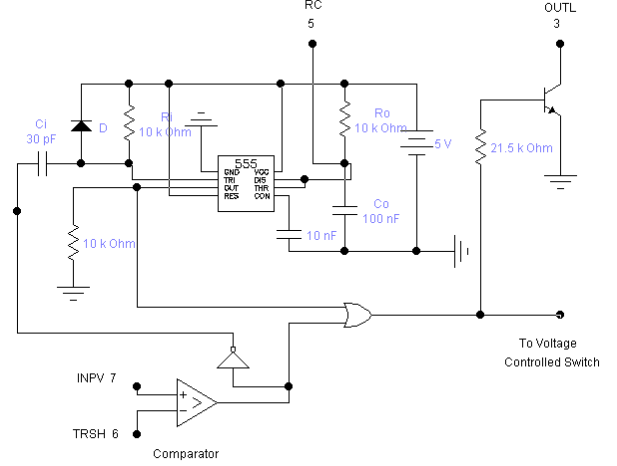
Key Words:
XR4151,
simulation.



Şekil 2. Gerilim- frekans çeviricinin fonksiyonel diyagramı.

Bu 555 tümdevresiyle gerçekleştirilmiş tek atımlı devre tekrar tetiklenebilir (retriggerable) çalışma şekline sahip değildir. Yani tek atım süresi bitmeden girişe yeni bir tetikleme darbesi geldiğinde devre tekrar tetiklenip bu yeni tetikleme anından itibaren çıkıştaki gerilim kaldığı andan devam ederek ilaveten bir tek atım süresi kadar daha yüksek seviyede duracak şekilde davranmaz. Halbuki 4151 tümdevresinde sürekli çalışma moduna geçmeden önceki geçici halde tek atım devresinin bir süre tekrar tetiklenebilir şekilde çalışması gerekir. Daha önce açıklandığı gibi geçici halde 4151'in girişindeki komparatörün iki giriş ucundaki gerilimler eşit değere ulaşınca kadar tek atımlı devrenin ateşlenmiş durumda kalması gereklidir. Geçici durumda neler olduğunu ve sürekli çalışmaya nasıl geçildiğini görmek için Şekil 4'teki değişimlere bakalım. Şekil 4, 4151 tümdevresi gerilim-frekans çevirici çalışma modunda çalıştırılırken elde edilmiştir. Gerilim-frekans çevirici devresinde komparatörün giriş uçlarından birine kendisiyle orantılı frekans elde edilecek olan giriş gerilimi (8,33V) diğer ucuna da R_B-C_B pasif entegratör devresinden gelen gerilim uygulanmaktadır. Şekil 4'de iki adet birbirine bağlı değişim görülmektedir. Üstteki değişim VEYA kapısının çıkışından alınmıştır. Altındaki değişim ise R_B-C_B pasif entegratör devresinin uçlarındaki gerilim değişimini göstermektedir. Başlangıçta C_B kondansatörü boş olduğundan 7. uca uygulanan giriş gerilimi daha büyük olacak ve komparatörün çıkışı yüksek gerilim seviyesinde olacaktır. Bu yüksek gerilim seviyesi komparatör ve 555 tümdevresinin çıkış uçlarının bağlı olduğu VEYA kapısından geçerek VEYA kapısının çıkışı yüksek seviyeye getirecektir. VEYA kapısının çıkışı yüksek seviyede olduğu müddetçe C_B kondansatörü anahtarlamalı akım kaynağının akımıyla dolacak ve R_B-C_B uçlarındaki gerilim yükselecektir. Bu gerilim 7 nolu uçtaki giriş gerilimini aşar aşmaz komparatör çıkışı düşük gerilim seviyesine düşecek (0V) ve bu seviyede anahtarlamalı akım kaynağının akımı kesileceğinden C_B üzerindeki gerilim düşmeye başlayacaktır. C_B üzerindeki gerilim henüz azalmaya başlamışken bu gerilim komparatörün diğer girişindeki giriş geriliminden aşağıya düşer düşmez komparatör çıkışı tekrar yüksek seviyeye çıkacaktır. Bu yükselme esnasında komparatör çıkışındaki evirici üzerinden 555 tümdevresinin tetikleme girişine bir inen darbe gelecek ve tek atımlı ateşlenecektir. Şekil 4'de bu durum, yani VEYA kapısının çıkışındaki çok kısa süreli konum değişikliği, üstteki değişimde yüksek gerilim seviyesinden ilk düşüşü gösteren çok kısa süreli çizgi halindeki değişimle kendini göstermektedir. 555 tümdevresinin 3 numaralı çıkışı $1,1R_0C_0$ süresince yüksek gerilim seviyesinde kalacak ve yine VEYA kapısı çıkışındaki gerilim yüksek gerilime çıkarak C_B 'nin bu sürede daha dolmasına sebebiyet verecektir. Tek atım süresi sonunda başlayan düşük gerilim seviyesi esnasında bir ayarlı dirençle belirlenir. 2 nolu uca bağlı direncin değeri

süresi boyunca 7 nolu uçtaki giriş geriliminin üzerine çıkmış olan C_B kondansatörü üzerindeki gerilim düşmeye başlayacaktır. Bu gerilim giriş gerilimi seviyesinin altına düşer düşmez tek atımlı tekrar tetiklenecek ve böylece sürekli çalışma moduna geçilmiş olunacaktır. Burada görüldüğü gibi geçici hal esnasında tek atımlının tekrar tetiklenme gerekliliği tek atımlının tekrar bir tetiklenme darbesiyle tetiklenmesiyle değil bir VEYA kapısı kullanılarak yerine getirilmiş olmaktadır.



Şekil 3. Tek atımlı devre.

Şekil 1, Şekil 2, Şekil 3'de görüldüğü gibi tek atımlı devrenin iki tane çıkışı vardır. Bu çıkışlardan biri anahtarlamalı akım kaynağına gitmektedir. Diğer çıkış ise 4151 tümdevresinin açık kolektörlü çıkışını oluşturan devreye uygulanmaktadır. Bu devre kolektörü açık bırakılmış bir transistorlu devreye modellenmiştir. Bu transistor için kütüphaneden ideal transistor seçilmiştir. Bu transistorlu devrenin tasarımı basit bir hesapla yapılabilmektedir. 4151 tümdevresi bu açık kolektörlü çıkış ucundan en fazla 20 mA (maximum output sink current) çekebilmektedir. Transistorun akım kazancı 100 olduğundan transistordan bu maksimum kolektör akımını akıtabilecek baz akımı $20\text{mA}/100=0,2\text{mA}$ 'dir. VEYA kapısının yüksek gerilim seviyesi 5V, baz-emetör gerilimi 0,7V olduğundan baza bağlanacak direncin değeri $(5V-0,7V)/0,2\text{mA}=21,5\text{kohm}$ olarak bulunur.

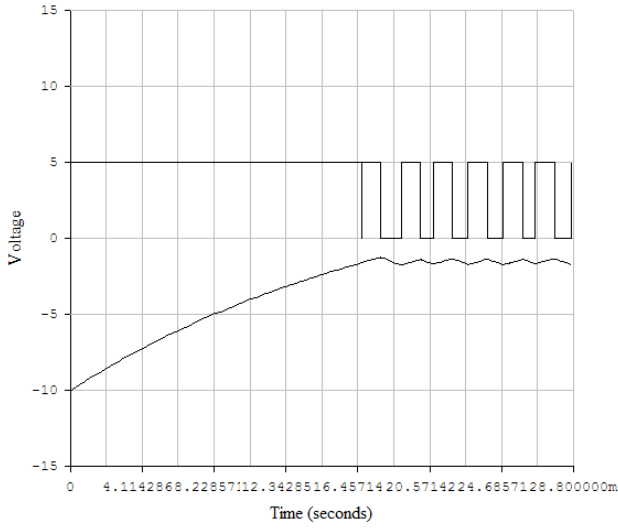
Tek atımlı devrenin burada oluşturulan modelinde ateşleme süresini belirleyen direnç ve kondansatörün devreye bağlanması şekli 4151 tümdevresinde olduğu gibidir. Direncin uçlarından biri besleme kaynağına, kondansatörün uçlarından biri toprağa bağlanmaktadır. Ancak burada tek fark direncin besleme kaynağına bağlı olan ucunun buradaki modelde içerideki sabit 5V'lık kaynağına bağlı olmasıdır. Kondansatör ve direncin birbirine bağlı olan uçları, benzetim devresinde de 4151 tümdevresinde olduğu gibi tümdevrenin 5 nolu ucu olan RC ucunu oluşturmaktadır.

2.2.2. Anahtarlamalı Akım Kaynağı.

Şekil 5'de anahtarlamalı akım kaynağı devresi görülmektedir. Anahtarlamalı akım kaynağı tek atımlı devre tarafından sürülmektedir. Akım kaynağı, tek atımlı devrenin ateşleme anında yani tek atım süresince anahtarlanıp iletme geçerek akım akıtır. Tek atım süresince akacak olan akımın genliği 4151 tümdevresinin 2 nolu ucuna bağlı toplam 14kohm değerindeki

dönüştürülür. Yani gerilim kontrollü akım kaynağının akıtacağı

değiştirilerek akım kaynağının akım akıttığı iletim anındaki sabit akımın değeri ayarlanabilir. 14kohm'luk toplam direncin ayarlanmasıyla aldığı değere R denilecek olursa anahtarlamalı akım kaynağının iletim anında akıtacağı akımın değeri $I=2,05V/R$ formülüyle hesaplanır. Yani I akımı 2,05V değerindeki tümdevre içindeki sabit bir gerilimin R direnci değerine bölünmesiyle bulunmaktadır. Şekil 6'dan görülebileceği gibi referans gerilim ucu olan 2 nolu uç tümdevre içindeki bir npn transistorün emetörüne bağlıdır ve bu noktadaki gerilim yaklaşık 2,05V değerinde tutulmaktadır. 4151 ile gerçekleştirilen pratik donanımlarda bu ucun kazayla toprağa yada besleme gerilimine değmesinden korunulması gerektiği uyarısı veri sayfalarında yapılmaktadır. Bu uçtaki akımın 5mA'ı aşması durumunda sürekli bir hasar meydana gelmektedir. Diğer bir deyişle 2 nolu uca bağlanacak olan direnç minimum $2,05V/5mA=410ohm$ olabilmektedir. Akım kaynağının akımı bu uçtaki direnç ile ayarlanırken bu direncin 410ohm'dan daha küçük bir değer almaması sağlanmalıdır. Bu amaçla bu uca bağlanacak ayarlı dirence seri olarak sabit bir 410ohm'luk direnç bağlanabilir.



Şekil 4. Geçici ve sürekli halde VEYA kapısının çıkışı (üstte) ve R_B-C_B devresinin ucundaki (altta) gerilimlerin birbirine bağlı değişimleri.

Yukarıda belirtildiği gibi anahtarlamalı akım kaynağının akımı iki değişik devre tarafından kontrol edilmektedir. Akım kaynağının anahtarlaması tek atımlı devre tarafından yapılmaktadır. Yani hangi anlarda akımın akacağı hangi anlarda akımın kesilmesi gerektiği tek atımlı devre tarafından belirlenmektedir. Akımın akma anında ne genlikte sabit bir akım akacağı ise 2 numaralı uca bağlanan dirençle belirlenmektedir. Şekil 5'teki anahtarlamalı akım kaynağını modelleyen devrede bir adet gerilim kontrollü anahtar bir adet de gerilim kontrollü akım kaynağının bulunduğu görülmektedir. Buradaki gerilim kontrollü anahtarla anahtarlamalı akım kaynağının anahtarlaması yapılmaktadır. Tek atım devresinin çıkışı gerilim kontrollü anahtar devresinin gerilim kontrol ucuna bağlanmıştır. Tek atım devresinin çıkışı yüksek gerilim seviyesine çıktığında, yani tek atım süresinde gerilim kontrollü anahtar devresinin anahtarı kapanır, yani anahtar ihmal edilebilecek çok küçük bir iletim direnciyle ilettime geçer. Anahtar ilettime geçtiğinde işlemsel kuvvetlendiricinin çıkış gerilimi gerilim kontrollü akım kaynağı devresinin gerilim kontrol ucuna uygulanmış olur. Bu gerilim, gerilim kontrollü akım kaynağının transfer fonksiyonu olan geçiş iletkenliğiyle (G) çarpılarak akıma

akımın değeri gerilim kontrol ucuna gelen gerilim ile geçiş iletkenliğine bağlıdır.

Bilindiği gibi 4151 tümdevresindeki anahtarlamalı akım kaynağının akıtacağı akımın değeri dışardan bağlanan 14kohm'luk bir dirençle belirlenmektedir. Buradaki anahtarlamalı akım kaynağında bu etki şu şekilde gerçekleştirilmiştir. 2 nolu uç olarak işaret edilmiş uç ile toprak arasına (4151'de olduğu gibi) bir ayarlı direnç ve bir de sabit direnç bağlanmıştır. Sabit direncin değeri yukarıda bahsedilen bu uçtan çekilebilecek maksimum akımı belirlemek üzere hesaplanmış olan 410ohm'luk dirençtir. 2 nolu uçtaki gerilim 2,05V olduğundan bu değerdeki bir gerilim kaynağı söz konusu direncin uçlarına paralel bağlanmıştır. 2 nolu uçtaki değişken direnç değiştirildikçe, 2,05V'luk gerilimin belli oranda bölünmesiyle oluşan gerilim, izleyici devre olarak çalışan işlemsel kuvvetlendirici üzerinden gerilim kontrollü akım kaynağının gerilim kontrol ucuna uygulanmaktadır. İşlemsel kuvvetlendiricili gerilim izleyici kullanılmasının sebebi gerilim kontrollü akım kaynağının gerilim kontrol ucundan görülecek direncin ayarlı dirençle oluşturulmuş gerilim bölme devresini yüklememesidir. Böylece anahtarlamalı akım kaynağının akım genliğinin daha kolay kontrol edilmesi sağlanmaktadır. Anahtarlamalı akım kaynağının akıtacağı I akımı 2 nolu uca bağlı ayarlı R direncine $2,05V/R$ ifadesiyle bağlıdır. Yani ayarlı direncin R değeri arttıkça anahtarlamalı akım kaynağının akımı azalır. Ayarlı direncin değiştirilmesi esnasında R direnci arttıkça akımın azalması gerekliliği, ayarlı direncin uçlarının uygun bağlanmasıyla sağlanmış bulunmaktadır.

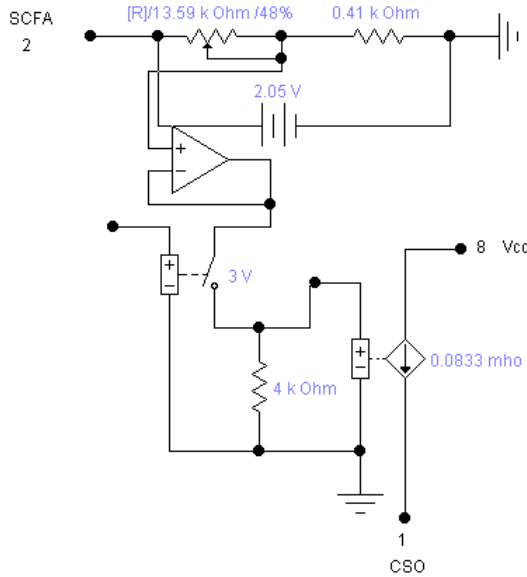
Gerilim kontrollü anahtarın çıkışındaki anahtara seri 4kohm değerinde bir direncin bağlanmış olduğu görülmektedir. Bu dirence neden gerek duyulduğu şöyle açıklanabilir: Gerilim kontrollü anahtarın anahtarı açık devre olduğunda çok büyük bir direnç gösterir. Anahtarın açık devre olması durumunda, işlemsel kuvvetlendirici çıkışındaki gerilim bu çok büyük direnç üzerinden gerilim kontrollü akım kaynağının gerilim uçlarına uygulanır. Anahtar açık devre olduğunda bu gerilimin 0V değerinde olması gerekir. Bu gerilimi sıfıra çekebilmek için işlemsel kuvvetlendiricinin çıkışındaki gerilim anahtarın açık devre direnci ve 4kohm'luk direnç tarafından bölünür. Anahtarın açık devre direnci 4kohm'a göre çok çok büyük olduğundan ilgili gerilim sıfıra çekilmiş olur. Anahtarın açık devre direnci değeri yanında 4kohm'luk direncin daha küçük seçilmesi durumunda bölünmüş gerilim sıfıra daha yakın olurdu. Ancak 4kohm'luk direncin çok küçük seçilmesi işlemsel kuvvetlendiricinin çıkışından aşırı akım çekilmesine neden olacaktır. 4kohm'luk direnç değerinin istenilen amaca ulaşmak için uygun bir değer olduğu görülmüştür.

4151 tümdevresinde anahtarlamalı akım kaynağının akımı değişken dirençle belirlenmektedir. Burada benzetimi yapılan bilgisayar modelinde ise, kullanılan gerilim kontrollü akım kaynağının akımı geçiş iletkenliğiyle de belirlenebildiğinden bu geçiş iletkenliğinin değiştirilmesi suretiyle de modeldeki anahtarlamalı akım kaynağının akımı değiştirilebilmektedir. İstenirse geçiş iletkenliğine başka bir değer atayarak da akım değişikliği mümkün olmakla birlikte tam bir benzerlik için akımın dirençle değiştirileceği düşünülerek geçiş iletkenliğine sabit bir değer atanabilir.

Geçiş iletkenliğinin uygun sabit değeri belirlenirken değişken R direncinin olabilecek en küçük değeri olan 410 ohm'luk değerinde akması gereken akım değerinden yararlanılabilir Bu akım değeri $2,05V/410ohm=5mA$ 'dir. Bu akımın akması için

gerilim kontrollü akım kaynağının gerilim ucuna uygulanan gerilim $2,05V \times (410\Omega/14k\Omega) = 0,0600V$ olur. Bu durumda geçiş iletkenliğinin değeri, gerilim kontrollü akım kaynağının bu durumdaki çıkış akımının giriş gerilimine bölünmesiyle $G = 5mA/0,0600V = 0,0833mho$ olarak hesaplanır.

Burada belirtilmesi gerekli bir diğer özellik bulunmaktadır. 4151 tümdevresinde anahtarlamalı akım kaynağının akıtılabileceği maksimum akım doğal olarak tümdevrenin besleme gerilimine bağlıdır. Halbuki buradaki bilgisayar benzetiminde bu konuda farklı bir davranış gözlenmektedir. Anahtarlamalı akım kaynağının modellenmesi için kullanılan gerilime bağlı akım kaynağının akıtacağı akım, akım uçlarından birine bağlı bulunan (4151 tümdevresinde olduğu gibi) besleme kaynağının gerilim değerinden bağımsızdır. Gerilime bağlı akım kaynağının tayin edilen akımı ile aktığı yol boyunca gördüğü direncin çarpımı söz konusu besleme gerilimini aşabilmektedir. Bu nedenle benzetim devresinin bazı noktalarındaki gerilim besleme geriliminin çok üzerine çıkabilmektedir. Bunun gerçek devrede mümkün olamayacağını bilmesi ve böyle bir duruma dikkat edilmesi gerektiği bilinmelidir.



Şekil 5. Anahtarlamalı akım kaynağı.

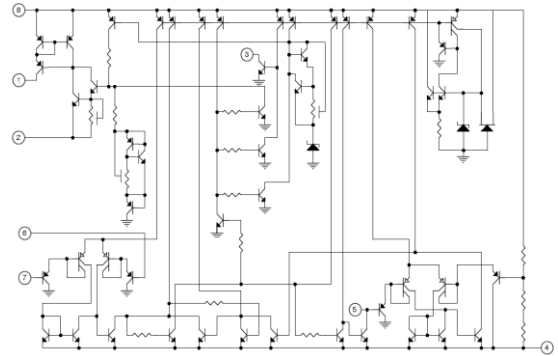
Şekil 7'de gerilim-frekans çevirici devresinin gerçekleştirilmiş olan modeli görülmektedir. Şekilde altta görülen ve tümdevrenin 1 numaralı ucuna bağlanan R_B-C_B pasif entegratör devresi dışındaki elemanlar XR4151 tümdevresi içindeki yapıları modellemek için kullanılmıştır. Yani pasif entegratör dışındaki devre elemanları tümdevrenin iç yapısının benzetimini oluşturmaktadır.

2.3. Gerilimi Frekansa Çevirme.

Şekil 7'de tümdevresinin iç yapısının modeliyle birlikte en altta yer alan R_B-C_B paralel devresi birlikte görülmektedir. R_B-C_B paralel devresi tümdevrenin dışında bulunmaktadır ve içerdeki bağımlı akım kaynağının akımının dışarıya çıktığı 1 nolu ucuna bağlı bulunmaktadır. Aynı şekilde gösterilen devredeki komparatörün "+" ucunun bağlı olduğu ve giriş geriliminin uygulandığı 7 nolu uca bir doğru gerilim uygulanması durumunda devre bir gerilim frekans çevirici olarak çalışır. Söz konusu gerilim frekans çevirici devresi değerinden boşalmaya başladığından uçlarındaki gerilimin

bilgisayar ortamında kurulmuş ve devrenin gerilimi frekansa nasıl çevirdiği aşağıda anlatıldığı şekilde incelenmiştir.

Devreye giriş gerilimi olarak (4151 tümdevresinin 7 nolu ucuna karşılık gelen komparatörün "+" girişine) değişik değerlerde doğru gerilimler uygulanmıştır. İki kanallı osiloskobun bir kanalı VEYA kapısının çıkışına, diğer kanalı da R_B-C_B paralel devresine (1 nolu uca) bağlanmıştır. VEYA kapısının çıkışındaki değişim girişteki doğru gerilime karşılık elde edilecek olan frekans çıkışının belirleneceği değişimi göstermektedir. Bu darbe değişiminde periyot ve darbe süresi aralıkları ölçülmüştür. Osiloskopa ölçülen periyot süresinden yararlanarak frekans belirlenmiş ve giriş gerilimine bağlı olarak frekansın değişimi incelenmiştir. Çıkışta elde edilecek frekansın değeri giriş gerilimine bağlı olduğu gibi aynı zamanda tek atım süresine, C_B ve R_B 'ye, bağımlı akım kaynağının akım şiddetine de bağlı olacaktır. Çıkış frekansının belirtilen bütün değişkenlere göre değişiminin nasıl olduğunu görebilmek için aşağıdaki Şekil 8'de gösterilen grafikler elde edilmiştir. Şekildeki bütün değişimlere bakıldığında giriş gerilimiyle çıkış frekansının yaklaşık olarak doğrusal bir biçimde değiştiği görülmektedir. Şekildeki bütün değişimler elde edilirken $R_B C_B$ zaman sabiti genelde olduğu gibi çok yüksek seçildiğinden, R_B-C_B devresi tek atım süresince dolarken uçlarındaki gerilim doğrusal olarak yükselmekte, yine boşluk süresince boşalırken de uçlarındaki gerilim doğrusal olarak azalmaktadır.

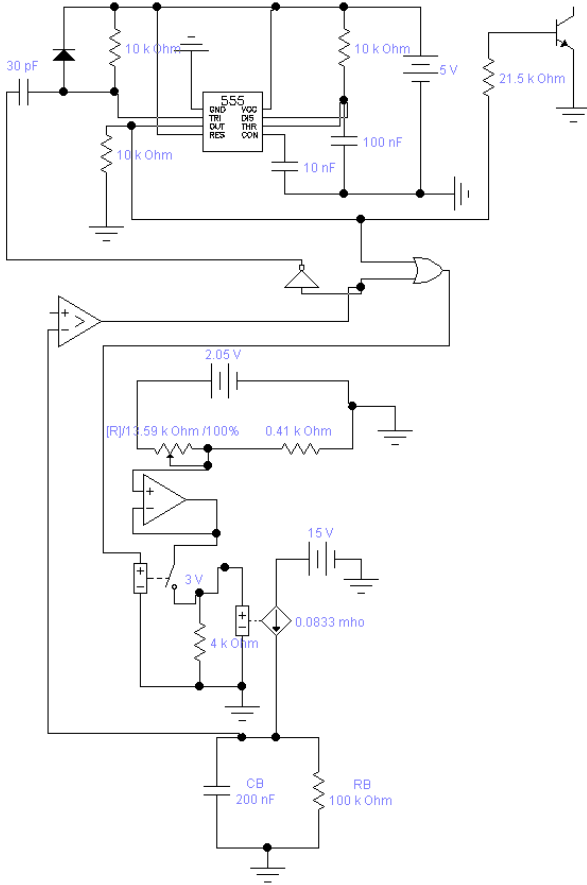


Şekil 6. XR4151 tümdevresinin iç yapısı.

Bilindiği gibi darbe süresi tek atım süresi olan $T_0 = 1,1R_0C_0$ süresine eşittir ve 555 tümdevresiyle oluşturulmuş tek atımlı devrenin zamanlama direnci ve zamanlama kondansatörüyle belirlenmektedir. Şekil 8'deki grafikteki değişimler belirlenirken iki farklı tek atım süresi için grafikler çizilerek tek atım süresinin gerilim-frekans değişimi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Tek atım sürelerinden biri 1.1ms, diğeri ise bunun iki katı olan 2.2ms seçilmiştir. İki farklı tek atım süresi belirlenirken $C_0 = 100nF$ 'da sabit tutulmuş R_0 'a ise biri 10kohm diğeri 20kohm olmak üzere iki farklı değer atanmıştır. Tek atım süreleri değişirken diğer değişkenlerden $C_B = 200nF$, $R_B = 100kohm$ değerinde sabit tutulmuştur. Gerilime bağlı akım kaynağının akımı, geçiş iletkenliğine $G = 0.072475mho$, akımın bağlı olduğu giriş gerilimine 2.05V değerleri verilerek $2.05V \times 0.072475mho = 0.148mA$ 'de sabit tutulmuştur. Şekil 8'deki grafikte en altta ve ortadaki değişimlere bakıldığında tek atım süresinin etkisi görülmektedir. İki değişime bakıldığında tek atım süresi azaldıkça aynı giriş gerilimi için elde edilecek çıkış frekansının arttığı görülmektedir. Bunun nedeni, sürekli halde çalışmada tek atım süresi azaldıkça tek atım süresince yükselmekte olan R_B-C_B uçlarındaki gerilimin daha düşük bir değeri alması ve R_B-C_B boşalırken daha küçük bir gerilim

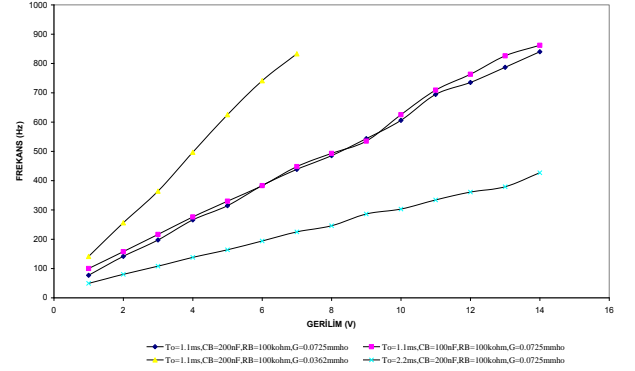
azalarak giriş gerilimi değerine daha çabuk ulaşması nedeniyle boşluk süresinin, dolayısıyla tek atım süresi ile boşluk süresinin toplamı olan periyodun azalması sonucu frekansın artmasıdır.

Grafiğin ortasında yer alan birbirine çok yakın iki değişime bakıldığında yalnızca C_B kondansatörünün %100 değiştirilmesinin bile fazla bir fark yaratmadığı görülmektedir. Grafiğin en üstünde yer alan değişiklik elde edilirken değeri değiştirilmiş olan değişkenin akım kaynağının akımı olduğu görülür. En üstteki değişimde akım kaynağının akımı geçiş iletkenliği $G=0.03623\text{mmho}$ yapılarak yarı değeri olan $2.05\text{V} \times 0,03623\text{mmho}=0.074\text{mA}$ 'e düşürülmüştür. Akım kaynağının akımının azaltılmasıyla frekansın artmasının açıklaması tek atım süresinin azaltılmasının frekansa olan etkisi açıklamasına benzer bir açıklamayla yapılabilir. Devrenin sürekli çalışma halinde daha düşük akımla dolan R_B-C_B devresi uçlarındaki gerilim giriş gerilimi üzerine daha az çıkmakta ve boşalma süresinde azalarak giriş gerilimine daha çabuk ulaşmaktadır. Dolayısıyla çıkış frekansı artmaktadır.



Şekil 7. Gerilim-frekans çeviricinin modeli.

En üstteki değişim için R_B-C_B devresi uçlarında oluşabilecek maksimum gerilimin 7.4V olduğu gösterilebilir. R_B-C_B devresi ve bunu dolduran akım kaynağının Thevenin eşdeğeri düşünüldüğünde C_B uçlarında oluşabilecek maksimum gerilim $0.074\text{mA} \times 100\text{kohm}=7.4\text{V}$ olur. Komparatörün bir ucundaki gerilim değeri bu gerilimin üzerine çıkmadığından bu değerdeki bir giriş geriliminden daha büyük gerilimler için çıkışta darbeleri değişim oluşmamıştır. Benzer şekilde grafikteki diğer değişimler için darbeleri çıkış işaretinin gözlenebildiği maksimum gerilimin $0.148\text{mA} \times 100\text{kohm}=14.8\text{V}$ olduğu görülür. dalganın darbe süresi esnasında kondansatör boşalıp



Şekil 8. Gerilim-frekans çevirici devresinde frekansın gerilime göre değişimi.

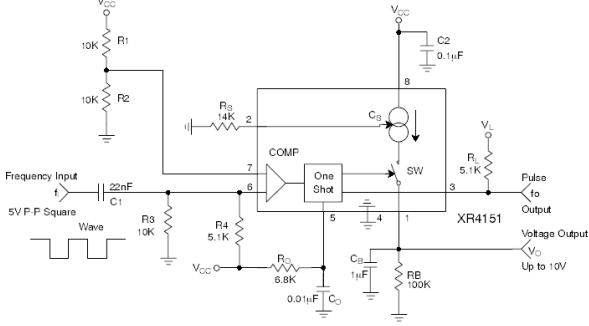
2.4. Frekans Gerilim Çevirici.

Şekil 9'da 4151 tümdevresi için veri sayfalarında önerilmiş olan frekans-gerilim çevirici devresinin fonksiyonel diyagramı görülmektedir. 4151 girişindeki tek atımlı devresini tetikleyen karşılaştırıcının 6. ve 7. uçlarına bağlı dirençli kutuplama devresi bulunmaktadır. Eğer girişteki C_1 kondansatörü üzerinden herhangi bir giriş işareti gelmiyorsa karşılaştırıcı çıkışında tek atımlıyı tetikleyen herhangi bir tetikleme işareti oluşmaz. 4151 tümdevresindeki komparatörün girişine bağlı 6. ucuca uygulanan kare dalga darbelerinin düşen kenarı (yada 7. uca uygulanan kare dalga darbelerinin yükselen kenarı) komparatör üzerinden tek atımlının tetiklenmesine neden olacaktır.

6. uca bağlı giriş bağlama kondansatörü ve iki kutuplama direncinden oluşan devre bir türev devresidir. Bu türev devresinin girişine yeterli genlikte bir kare dalga uygulanması durumunda tek atımlıyı tetikleyecek darbeler üretilir. Frekansıyla orantılı bir doğru gerilim elde edilmesi istenen işaretin bir sinüzoidal işaret olması durumunda, bu sinüzoidal işaret girişe uygulanmadan önce harici bir gerilim karşılaştırıcı kullanılarak kare dalgaya çevrilebilir. Komparatör girişlerindeki türev ve kutuplama devrelerinin eleman değerleri, girişe gelebilecek farklı genlik ve frekanstaki kare dalga işaretlerinde devrenin çalışması sağlanacak şekilde değiştirilebilir. İlgili eleman değerleri belirlenirken nelerin dikkate alınması gerektiği aşağıda yapılan açıklamalara bakılarak daha iyi anlaşılabilir.

Şekil 10'da modellenmiş olan frekans-gerilim çevirici devresi görülmektedir. Şekil 11'de ise Şekil 10'da görülen girişteki $C_c=22\text{nF}$ bağlama kondansatörünün iki ucundaki işaretlerin değişimleri gösterilmektedir. Şekilde aşağıda yer alan 15V genliğinde ve 500Hz frekansındaki kare dalga işareti, frekansıyla orantılı çıkış gerilimi elde edilmesi istenen giriş işaretidir. Şekilde yukarıda görülen değişim kondansatörün diğer ucundaki değişimdir ve bu değişim kare dalga giriş işaretinin türevidir. Türev işaretinden görüldüğü gibi kare dalganın düşen kenarında aşağıya doğru inen bir iğne darbe, kare dalganın yükselen kenarında ise yukarıya doğru çıkan bir iğne darbe oluşmaktadır. İğne darbelerin oluşumu şu şekilde gelişmektedir: Sükunet halinde yaklaşık 10V gerilimle (ki bu gerilim değeri 15V 'luk besleme geriliminin $5,1\text{kohm}$ ve 10kohm 'luk iki dirençle bölünmesiyle elde edilmiş olan $15\text{V} \times (10\text{k}/(5,1\text{k}+10\text{k}))=9,93\text{V} \approx 10\text{V}$ değerindeki sükunet gerilimdir) dolmuş olan bağlama kondansatörünün diğer ucundaki gerilim kare dalganın yükselen kenarında ani olarak 15V 'a çıktığında 6 nolu uçtaki gerilim o anda $10\text{V}+15\text{V}=25\text{V}$ 'a çıkmakta ve kare

kondansatör üzerindeki gerilim düşümü azaldığından 6 nolu uçtaki gerilim tekrar sükunet değerini almaktadır. Kare dalganın darbe süresi esnasında kondansatör uçlarındaki gerilim düşümü $15V-10V=5V$ değerine gelmiş olduğundan inen kenar oluştuğu anda 6 nolu uçtaki gerilim $-5V$ olmakta ve boşluk süresi esnasında kondansatör dolarak 6 nolu uçtaki gerilim tekrar sükunet değerine ulaşmaktadır.



Şekil 9. Frekans-gerilim çeviricinin fonksiyonel diyagramı.

7 nolu uç komparatörün diğer ucudur. Bu uçtaki gerilim $15V$ 'luk besleme geriliminin iki adet $10k\Omega$ değerindeki dirençle ikiye bölünmesinden elde edilmiş olan $7,5V$ değerine sahip bir gerilimdir. Şekil 12'den görüldüğü gibi 6 nolu uçta oluşan ve $7,5V$ 'un altına düşen her inen iğne darbeye komparatörün çıkışında bir pozitif darbe oluşmaktadır (komparatör çıkışındaki değişim şeklin aşağısında yer alan değişimdir). İğne darbenin genliği tekrar $7,5V$ eşik gerilimi değerine ulaşınca kadar komparatörün çıkışı yüksek seviyede kalmaktadır. Komparatörün çıkışındaki pozitif darbenin yükselen kenarıyla tek atımlı devre ateşlenmektedir.

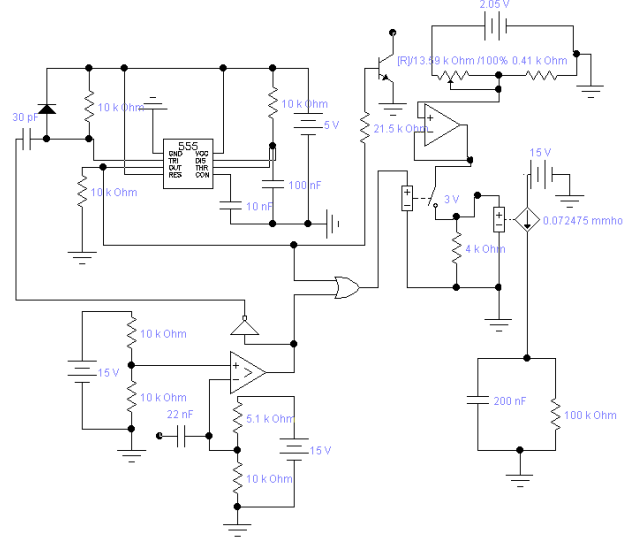
İlgili eleman değerleri hesaplanırken iğne darbelerinin hangi uygun anlarda oluşması ve hangi uygun süre ve genliklere sahip olmasının sağlanması gerektiği yukarıda verilen açıklamalardan görülmektedir.

Şekil 13'de, yukarıda verilmiş olan frekans-gerilim çevirici model devresindeki eleman değerlerine göre VEYA kapısının çıkışındaki ve R_B-C_B devresinin ucundaki gerilimin değişimlerini gösterir grafik verilmiştir. Grafikte üstte görülen VEYA kapısının çıkışındaki darbelerle devredeki bağımlı akım kaynağı anahtarlanmakta ve her darbenin darbe süresince akım kaynağı R_B-C_B devresine akım enjekte etmektedir. 1 nolu uçta oluşan bu akım darbeleri R_B ve C_B 'den oluşmuş pasif entegratör devresi tarafından süzülerek grafikte aşağıda görülen değişim elde edilmektedir. Aşağıdaki değişimden görüldüğü gibi, gerilim yükselerek belli bir gecikmeden sonra, devrenin girişine uygulanmış olan işaretin frekansına karşılık çıkışta elde edilmesi gereken doğru gerilim seviyesine ulaşılmaktadır. Çıkıştaki işarette dalgalanmanın daha az olması isteniyorsa C_B 'nin değerinin artırılması gerekir.

2.5. Frekans Gerilime Çevirme.

Şekil 10'daki komparatörün giriş ucundaki $22nF$ 'lık kondansatör üzerinden devrenin frekans girişine darbe süresi ve boşluk süresi eşit kare dalga uygulanmıştır. Bu kare dalganın frekansı değiştirilerek R_B-C_B devresinin uçlarındaki doğru gerilimler ölçülmüştür. Değişik frekanslara karşılık elde edilen doğru gerilimlerle Şekil 14'teki grafik elde edilmiştir. Şekil 14'teki grafikte üç farklı değişim görülmektedir. Tek

atım süresinin ve bağımlı akım kaynağının akımının iki farklı değerleri için, bu değerlerin çıkış doğru gerilimi üzerindeki etkisini görmek üzere söz konusu üç farklı değişim birlikte aynı grafik üzerine çizilmişlerdir. Bütün değişimlerde, belli frekans aralıkları dahilinde çıkış doğru geriliminin giriş frekansı ile doğru orantılı olarak artmakta olduğu görülmektedir. Giriş frekansı belli frekans aralığında arttıkça çıkış gerilimi doğru orantılı olarak artarken belli bir frekansa gelindiğinde çıkış geriliminin ani olarak düşmesi aşağıdaki gibi açıklanabilir.



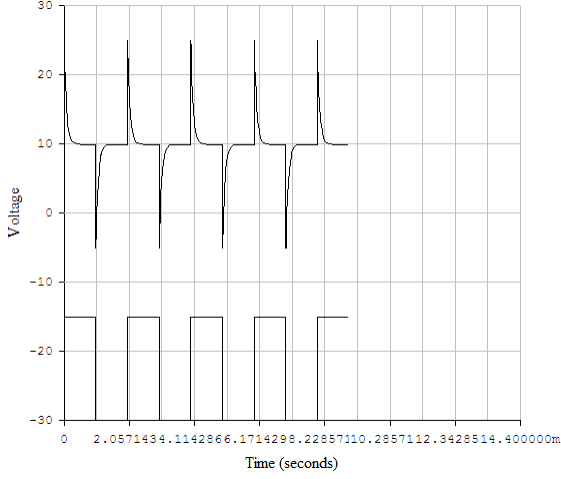
Şekil 10. Frekans-gerilim çeviricinin model devresi.

Tek atım süresi sabit tutulduğundan giriş frekansının artması R_B-C_B devresini besleyen bağımlı akım kaynağının tüm devreden çıkış ucu olan 1 nolu uçtaki akım darbesinin boşluk süresi azalmaktadır. Frekans arttıkça giriş işaretinin periyodu azalmakta ve belli bir frekansta bu periyot tek atım süresinden daha küçük bir değere düşmektedir. Tek atımlı devre tekrar tetiklenebilir olmadığından tek atım esnasında girişte oluşan tetikleme darbesi tek atımlıyı tekrar ateşlememektedir. Tek atım devresinin tekrar tetiklenmesi girişten gelen bir sonraki tetikleme darbesiyle mümkün olmaktadır. Yani tek atımlı devre girişe uygulanan kare dalganın art arda gelen iki inen kenarından birincisiyle değil ikincisiyle tetiklenmektedir. Bu da devrenin girişine gelen frekansın ikiye bölünmüş gibi davranılmasına neden olmaktadır. Frekans aniden ikiye bölünmüş gibi olduğundan gerilim de aniden düşmektedir. Frekans artırılmaya devam edilirse belli bir frekanstan sonra girişin art arda gelen ardışıl üçüncü tetikleme darbesiyle, frekans daha da arttırılırsa girişin ardışıl dördüncü tetikleme darbesiyle v.b. tetiklenilmiş gibi davranılmaktadır. Böylece belli frekanslarda çıkış doğru geriliminde ani düşüşler meydana gelmektedir. Şekil 14'teki grafikte en üstte yer alan değişimde diğer iki değişime nazaran tek atım süresi iki misli olduğundan çıkış gerilimindeki ani düşme daha küçük frekansta başlamakta ve daha kısa frekans aralıklarıyla tekrarlanmaktadır. En alttaki iki grafiğe bakıldığında, geçiş iletkenliği değerinin yarıya düşürülmesi yoluyla bağımlı akım kaynağının akımının yarıya düşürülmesi, çıkış geriliminin daha düşük gerilim değerlerinde değişmesine neden olduğu görülmektedir.

3. TARTIŞMA ve SONUÇ

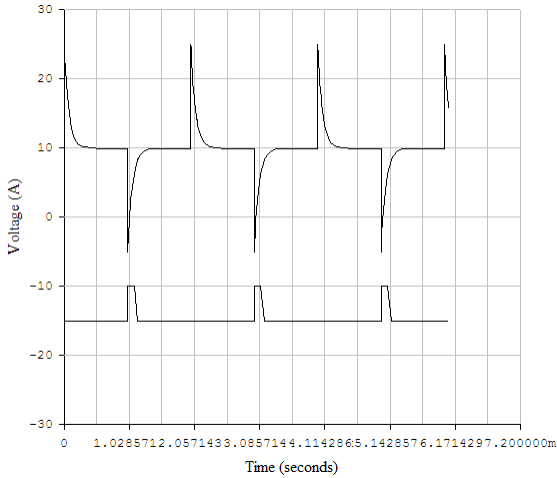
Bu çalışmada XR4152 tümdevresinin çalışmasının bilgisayarla benzetimi yapılmıştır. Bu benzetim sonucu ortaya çıkarılan benzetim devresi çoğu açıdan XR4151 tümdevresinin çalışmasına benzer şekilde davranmaktadır. Tamamıyla benzer

bir çalışmaya sahip bir benzetim ortaya koymak için birtakım daha başka çalışmaların yapılması gerekmektedir. Gene de ortaya konan çalışma, tümdevrenin yapısı üzerinde geliştirmeler yapmaya veya başka benzetim modellerini oluşturmaya yönelik bundan sonraki çalışmalar için bir adım oluşturmaya açısından önem taşımaktadır.



Şekil 11. Girişteki bağlama kondansatörünün iki ucundaki gerilimlerin birbirine bağlı olarak değişimleri.

XR4151 gerilim-frekans, frekans-gerilim çevirici tümdevresinin burada gerçekleştirilen bilgisayar benzetiminin bu tümdevreyi içeren devrelerin bilgisayarla çözümlenmesinde epey yararlı olacağı görülmektedir. XR4151 tümdevresini laboratuarda kullanırken osiloskopla başlangıçta hızla olup biten geçici halleri gözlemlemek mümkün olmamaktadır. Bilgisayar ortamında osiloskopla geçici haller de gözlemlenebildiğinden, bu çalışmada gerçekleştirilen benzetim devresi üzerinde yapılan incelemelerde tümdevrenin çalışması ve davranışı daha iyi bir şekilde ortaya konulabilmektedir.

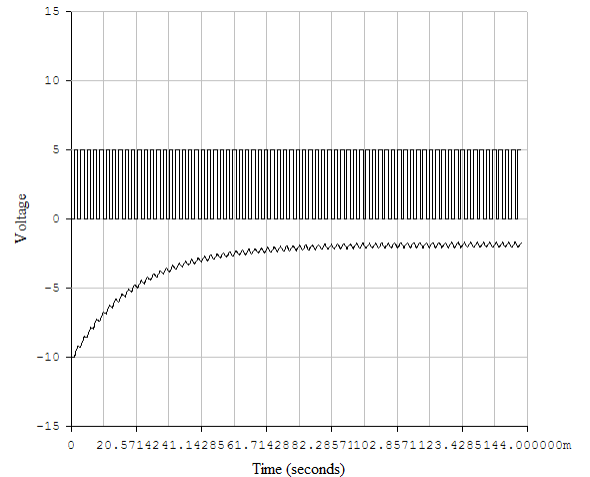


Şekil 12. 6 nolu uç ve komparatör çıkışındaki gerilimlerin birbirine bağlı olarak değişimleri.

Bilgisayar ortamında tasarlanan model ile gerilim-frekans ve frekans-gerilim çevirici devreleri kurulmuştur. Çalışması incelenen bu devrelerle modelin doğru çalışıp çalışmadığı sınanmıştır. Gerilim-frekans ve frekans-gerilim çevirici

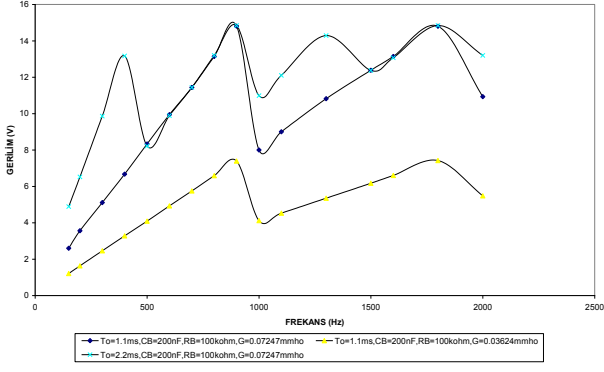
devrelerinin incelenmesi sonucu elde edilen grafiklerle gerilimden frekansa ve frekanstan gerilime çevirme esnasında oluşan olaylar gösterilmiştir. Burada verilen grafiklerden elde edilen sonuçlar, bu tip devrelerin tasarlanması esnasında göz önünde bulundurulması gereken kriterleri ortaya koyduğundan önem taşımaktadır.

XR4161 tümdevresi 8V ile 22V gibi geniş bir besleme gerilimi aralığında çalışabilmektedir. Tek kaynakla beslenen tümdevrenin besleme gerilimi tümdevrenin 8 nolu ucuna uygulanmaktadır. Gerilim-frekans çeviricinin fonksiyonel diyagramının gösterildiği Şekil 2'ye bakıldığında 8 nolu ucun üzerinden bağımlı akım kaynağına bağlı olduğu görülür. Bilindiği gibi bağımlı akım kaynağının akımı söz konusu besleme geriliminden bağımsızdır. Değişik gerilimlerle beslenebilen tümdevre yapılarında yapıldığı gibi bu tümdevrede de araya akım kaynağı konularak içerdeki devrelerin besleme kaynağı gerilimine bağımlılığı azaltılmıştır. Burada oluşturulan bilgisayar modelinde de besleme geriliminin uygulandığı tek uç gerilime bağımlı akım kaynağının ucu olan 8 nolu uçtur. Modeldeki devrenin diğer kısımları besleme gerilimi değerinden bağımsız olarak içerdeki kendi sabit gerilim kaynaklarıyla çalışmaktadırlar. Tümdevre benzetimi devresinin çevresel elemanlara bağlanması ile gerçek tümdevrenin çevresel elemanlara bağlanış şekli arasında oluşan tek fark tek atım devresinin zamanlama direncinin bağlanışında ortaya çıkmaktadır. Modelde söz konusu direnç içerdeki sabit besleme kaynağına bağlanırken gerçek durumda 8V ile 22V arasında değişik değerler alabilen besleme kaynağına bağlanmaktadır. Benzetim devresi şimdilik bu eksikliğiyle bırakılmıştır. İstenirse bu eksiklik de giderilebilir. Ayrıca benzetim devresindeki akım kaynağı akımının besleme geriliminden bağımsız değerler alabilmesi nedeniyle model devresindeki belli noktadaki gerilimler besleme gerilimi değerlerini çok aşabilmektedir. Gerçekle bağdaşmayan bu durumu bir kez daha belirlemekte fayda görülmüştür.



Şekil 13. VEYA kapısının çıkışı ve R_B-C_B devresinin uçlarındaki gerilimlerin birbirine bağlı olarak değişimleri.

İlk aşamada XR4151 tümdevresinin çalışmasının benzetimi amaçlandığından, burada tümdevrenin bağlanma uçlarından gösterdiği elektriksel karakteristiklerinin aynısının elde edilmesine çalışılmamıştır. İstenirse bunun da gerçekleştirilmesi mümkündür.



Şekil 14. Frekans-gerilim çevirici devresinde gerilimin frekansa göre değişimi.

4. KAYNAKLAR

1. Özütürk, E., 2008. Frekans Ötelemeli Anahtarlama Kullanarak Optik Modem Tasarımı, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. 24(1-2), 129-153.
2. Pastacı, H., 1998. Elektronik Devreler. İstanbul.